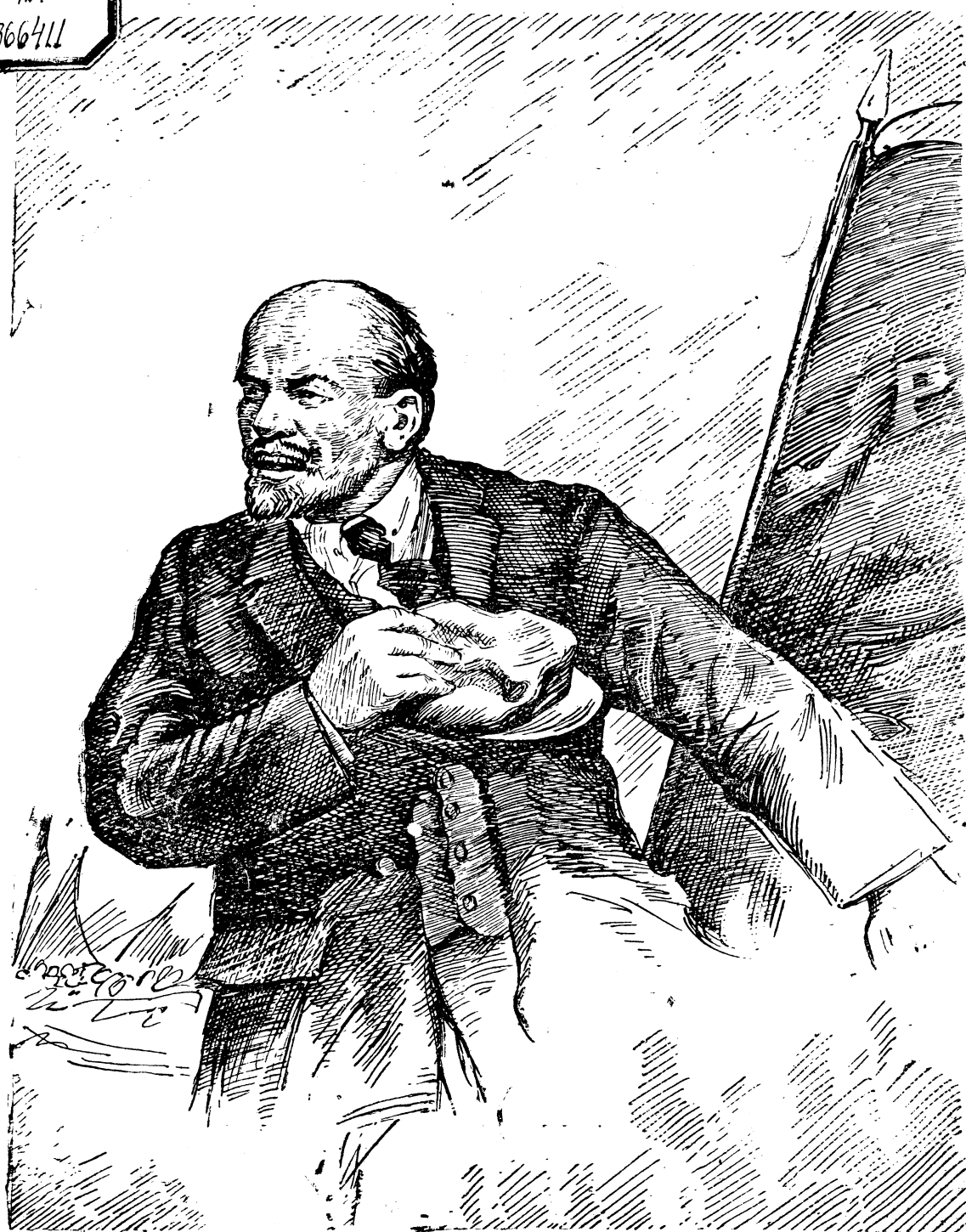


3-48.  
366411



# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

40

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

4

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

4

1940

АПРЕЛЬ

ГОД ИЗДАНИЯ 61-й

Орган Народных Комиссариатов Электростанций и Электропромышленности и Академии Наук СССР

Адрес редакции: Москва, Бол. Калужская, дом 67, 1 этаж, комн. 144, тел. В 5-32-79

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

## ЛЕНИН

1870 — 1940

22 АПРЕЛЯ 1870 года является замечательной датой в жизни всего человечества. В этот день, семьдесят лет назад, в России, в городе Симбирске родился Владимир Ильич Ульянов.

Над Россией стояла ночь царизма, тяготел гнет помещичье-капиталистической эксплуатации, когда молодой Ульянов-Ленин начал собирать силы рабочего класса под боевое знамя марксизма и закладывать основы партии пролетариата.

В ту глухую пору Ленин пророчески предсказал историческую роль русского рабочего класса в освободительной борьбе трудящихся всего мира.

В заключительных строках своего знаменитого произведения «Что такое «друзья народа» и как они воюют против социал-демократов» Ленин в 1894 году с потрясающей силой гениального произведения писал:

«На класс рабочих и обращают социал-демократы все свое внимание и всю свою деятельность. Когда передовые представители его усвоят идеи научного социализма, идею об исторической роли русского рабочего, когда эти идеи получат широкое распространение и среди рабочих создадутся прочие организации, преобразующие теперешнюю разоренную экономическую войну рабочих в сознательную классовую борьбу, — тогда русский РАБОЧИЙ, поднявшись во главе всех демократических элементов, свалит абсолютизм и поведет РУССКИЙ ПРОЛЕТАРИАТ (рядом с пролетариатом ВСЕХ СТРАН прямой дорогой открытой политической борьбы к ПОБЕДОНОСНОЙ КОМУНИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ»<sup>1</sup>.

Идея диктатуры пролетариата, поднятая Лениным, считавшая в борьбе со всеми и всяческими врагами капитализма, в борьбе с врагами большевистской партии и народа, победила в Великой Октябрьской социалистической революции.

Победила передовая марксистская теория, развитая и обогащенная Лениным на основе гигантского исторического опыта борьбы масс в эпоху империалистических войн и пролетарских революций.

Восторжествовало учение марксизма-ленинизма.

Восторжествовало дело партии Ленина—Сталина, дело Советской власти.

Неоценимо научное теоретическое богатство и практически революционное значение трудов Ленина во всех областях его многообразной деятельности, направленной к коммунизму.

Одной из наиболее ярких сторон деятельности Ленина является его борьба за создание хозяйственно-технической базы социализма и коммунизма.

В докладе о деятельности СНК на VIII Всероссийском съезде Советов 22 декабря 1920 г. Ленин говорил делегатам съезда о небольшом томике, в котором заключены результаты работ Государственной комиссии по электрификации России:

«Я думаю, что мне не трудно будет убедить вас в особенном значении этого томика. На мой взгляд, это — наша вторая программа партии»<sup>2</sup>.

И далее Ленин пояснял значение широкого хозяйственного плана, являющегося второй программой партии, программой, которая должна будет повседневно улучшаться, разрабатываться, совершенствоваться и видоизменяться:

«Она нам нужна, как первый набросок, который перед всей Россией встанет, как великий хозяйственный план, рассчитанный не меньше, чем на десять лет, и показывающий, как перевести Россию на настоящую хозяйственную базу, необходимую для коммунизма»<sup>3</sup>.

Этот томик, содержащий в себе вторую программу партии — план ГОЭЛРО, — Ленин и Сталин

<sup>2</sup> Ленин, т. XXVI, стр. 45.

<sup>3</sup> Ленин, т. XXVI, стр. 46.

отстояли в борьбе против яростных наскоков со стороны врагов партии и рабочего класса.

В том же докладе Ленин дал свое гениальное по глубине и выразительности определение:

«Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны».

Ленин предвидел коммунизм, предвидел его не в особенно далеком будущем.

На III Всероссийском съезде комсомола в октябре 1920 г. он говорил:

«Тому поколению, представителям которого теперь около 50 лет, нельзя рассчитывать, что оно увидит коммунистическое общество. До тех пор это поколение перемрет. А то поколение, которому сейчас 15 лет, оно и увидит коммунистическое общество и само будет строить это общество»<sup>4</sup>.

Эта отчетливая перспектива коммунизма связывалась у Ленина с сегодняшними задачами по укреплению советского государства, с практическими задачами социалистического строительства, с созданием максимально экономного государственного аппарата и развитием крупной машинной индустрии.

Вот как определял эти задачи Ленин в статье «Лучше меньше, да лучше»:

«Если мы сохраним за рабочим классом руководство над крестьянством, то мы получим возможность ценой величайшей и величайшей экономии хозяйства в нашем государстве добиться того, чтобы всякое малейшее сбережение сохранить для развития нашей крупной машинной индустрии, для развития электрификации, гидроторфа, для достройки Волховстроя и прочее.

В этом и только в этом будет наша надежда. Только тогда мы в состоянии будем пересечь, выражаясь фигурально, с одной лошади на другую, именно, с лошади крестьянской, мужицкой, обнищавшей, с лошади экономий, рассчитанных на разоренную крестьянскую страну, — на лошадь, которую ищет и не может не искать для себя пролетариат, на лошадь крупной машинной индустрии, электрификации, Волховстроя и т. д.»<sup>5</sup>.

В своей огромной государственной работе Ленин уделял исключительное внимание оперативной помощи делу электрификации.

Известны многочисленные личные распоряжения и указания, которые давал Ленин по крупным и «мелким» конкретным вопросам строительства Волховской, Каширской и других электростанций.

В телефонограмме в ВСНХ от восьмого сентября 1921 г. Ленин писал:

«Предлагаю немедленно обеспечить Волховстройку необходимым количеством дензнаков для обеспечения форсированного ведения работ соответственно количеству отпущенных, согласно постановления ВЦИК от 30 мая и 5 ноября, пайков.

Пришлите мне сообщение об исполнении не позднее 10 сентября»<sup>6</sup>.

В телеграмме Тульскому, Алексинскому, Тарусскому и Коломенскому укомтрудам от 6 октября 1921 г. Ленин приказывал:

«Предписываю немедленно набрать 20 человек штукатуров и отправить в Каширу на работы по стройки Каширской электрической станции. Об исполнении донести»<sup>7</sup>.

В телефонограмме в Наркомпуть от 17 октября 1921 г. Ленин приказывал:

«Предписываю в двухдневный срок разрешить вопрос о переходе по мосту через Оку для электропередачи Кашира — Москва»<sup>8</sup>.

С неустанной заботой следил Ленин за первыми шагами плановой электрификации, устраняя препятствия с ее пути, беспощадно борясь с бюрократизмом и волокитой, требуя проверки, тройной проверки исполнения.

...Ленину не удалось дожить до того могучего расцвета Советского государства, которому весь мир является свидетелем сегодня. Своих успехов трудящиеся нашей страны добились в результате исполнения заветов Ленина под руководством гениального продолжателя дела Ленина — товарища Сталина.

План ГОЭЛРО усилиями большевиков превращен в действительность и давно перекрыт сталинскими пятилетками. Созданы крупная машинная индустрия и крупное коллективизированное сельское хозяйство. Как никогда выросла оборонная мощь страны социализма.

На берегах Волги, неподалеку от бывшего Симбирска, ныне Ульяновска, где провел свои детские годы Владимир Ленин, по указанию товарища Сталина строится величайшее в мире сооружение Куйбышевского гидроэнергетического узла.

Это строительство, в котором сочетается творческий революционный размах с новейшими достижениями науки и техники, явится достойным продолжением ленинско-сталинской электрификации.

В бессмертных делах большевиков Ленин будет жить вечно.

<sup>4</sup> Ленин, т. XXV, стр. 397.

<sup>5</sup> Ленин, т. XXVII, стр. 417.

<sup>6</sup> Ленинский сборник, XXIII, стр. 31.

<sup>7</sup> Ленинский сборник, XXIII, стр. 25.

<sup>8</sup> Ленинский сборник, XXIII, стр. 19.

*1765—1940*



*К 175-летию со дня смерти*  
**М. В. ЛОМОНОСОВА**



# Родоначальник русской науки

*К 175-летию со дня смерти М. В. Ломоносова*

**И**СПОЛНИЛОСЬ сто семьдесят пять лет со дня смерти великого русского ученого, поэта и мыслителя Михаила Васильевича Ломоносова.

Родоначальник русской науки, он своим собственным примером показал, что «может собственных Платонов и быстрых разумом Невтонов российская земля рождать». Важнейшие проблемы естествознания, стоявшие в центре внимания науки XVIII в., были предметом его непрерывных исследований. Выводы, сделанные Ломоносовым на основе кропотливых изысканий, предвосхищали на много десятилетий вперед важнейшие естественнонаучные успехи.

Вместе с тем Ломоносов никогда не был кабинетным ученым. Неутомимую исследовательскую работу он блестяще сочетал с широкой общественной деятельностью, направленной на повсеместное распространение знаний в народе, которому он всю жизнь искренно служил. О нем Пушкин с полным правом говорил: «Ломоносов создал первый русский университет, он, лучше сказать, сам был нашим первым университетом».

Творчество Ломоносова было действительно необычайно разносторонним. Он обогатил ценнейшими работами различные отрасли естествознания и много трудился над вопросами гуманитарных наук. Особенно он прославился в области художественной литературы. В. Белинский подчеркивал: «С Ломоносова начинается наша литература, он был ее отцом и пестуном, он был ее Петром Великим».

Этот гигант творческой мысли вышел из глубинных недр народа.

Точная дата рождения Ломоносова не установлена. Обычно считают днем его рождения 7 ноября 1711 г. Отец его Василий жил в деревне Денисовке, близ г. Холмогор. С раннего возраста Ломоносов проявлял повышенный интерес к науке, хотя систематического образования не получил, научившись читать и писать вначале у соседа, а затем у местного дьячка. На умственное развитие Ломоносова большое влияние оказали условия, в которых он рос и воспитывался. Северодвинский край по своему естественно-географическому расположению занимал выдающееся место в экономике страны. В течение долгого времени г. Архангельск был естественным портом, откуда отправлялись и прибывали грузы из-за границы. Молодой Ломоносов постоянно общался с людьми, побывавшими за границей, а также с иностранцами.

Но и в этом оживленном крае не было школ. Ломоносов решил отправиться в Москву. Здесь он в двадцатилетнем возрасте поступил в Славяно-греко-латинскую Академию при Заиконоспасском монастыре, выдав себя за сына дворянина (крестьянских детей в школы не принимали).

Выдающиеся способности Ломоносова обнаружались уже в первом году учебы. В течение года он прошел целых три класса (всего их было восемь), и это было достигнуто при самых тяжелых условиях. Вот что он сам рассказывает об этом периоде:

«Обучаясь в Спасских школах, имел я со всех

сторон отвращающие от науки пресильные стремления, которые в тогдашние лета почти непреодолимую силу имели. С одной стороны, отец, никогда детей (сыновей), кроме меня, не имел, говорил, что я, будучи один, его оставил, оставил все довольства (по тамошнему состоянию), которые он для меня кровавым потом нажил и которые после его смерти чужие похитят. С другой стороны, несказанная бедность: имея один алтын (3 копейки) в день жалованья, нельзя было иметь на пропитание в день больше как на денежку хлеба и на денежку квасу, прочее на бумагу, обувь и другие нужды. Таким образом жил я пять лет и наук не оставил. С одной стороны, пишут, что, зная отца моего недостатки, хорошие тамошние люди дочерей своих за меня выдадут, которых и в мою там бытность предлагали; с другой стороны, школьники, малые ребята, кричат и перстами указывают: смотри-де какой болван лет в двадцать пришел латыне учиться»<sup>1</sup>.

Трудности сопутствовали Ломоносову на всем протяжении его жизни. В числе лучших учеников «спасских школ» он попал в Академию наук, похвалившую его затем в длительную командировку за границу, где он долгое время учился у крупнейшего немецкого ученого XVIII в. Христиана Вольфа. Казалось, Ломоносову открылась широкая дорога к вершинам знания. Однако в царской России ученые неизбежно сталкивались с препонами и препятствиями, преодолеть которые удавалось только наиболее волевым и сильным людям.

Больше всех обид и оскорблений терпел Ломоносов. Он мужественно и самоотверженно вступил в борьбу с душителями науки, которым было поручено руководство Академией наук. В этой борьбе он был нестигаем. Лучшие ученые неизменно поддерживали с ним дружеские связи и высоко его ценили. Но сломить бюрократический аппарат в Академии наук ему так и не удалось.

В области естествознания Ломоносов особенно много сделал по химии и физике. Его блестящие исследования по химии сразу же поставили его в ряд выдающихся ученых века. Именно Ломоносов первый сформулировал закон сохранения вещества. За сорок с лишком лет до Лавуазье он пришел к этой идее, высказанной им в одном из писем (1748 г.) к знаменитому ученому Леонарду Эйлеру, вниманием которого Ломоносов неизменно пользовался. В своем произведении «Рассуждение о твердости и жидкости тел» Ломоносов дает четкую формулировку открытого им закона: «Все перемешанное, в натуре случающееся, суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимается, столько присовокупится к другому. Так, ежели где убудет несколько материи, то умножится в другом месте».

Выдающимися были работы Ломоносова в области физики. Видное место среди них занимают его исследования и в области электричества.

Эти его изыскания начались тогда, когда на ос-

<sup>1</sup> Билярский, Материалы для биографии М. В. Ломоносова, стр. 204.

нове накопленных данных наука вплотную подошла к разрешению необычайно важных естественно-научных задач. Большим вниманием в ученом мире того времени (40—50 гг. XVIII в.) пользовались изучение молнии и вопросы теории электричества. Обычно принято считать, что осуществление этих задач связано с именем Вениамина Франклина. Великий американский ученый действительно плодотворно потрудились на этом поприще. Но независимо от Франклина Ломоносов работал над теми же вопросами, что и американский ученый, и в ряде случаев пришел к тем же выводам.

В изысканиях Ломоносова имеются совершенно отличные от Франклина взгляды. Ломоносов предложил новую теорию атмосферного электричества, образующегося от трения восходящих и нисходящих воздушных течений. Эта теория получила одобрение со стороны ряда крупнейших ученых Запады, в том числе и Эйлера.

По инициативе Ломоносова Петербургская академия наук в 1753 г. объявила международный конкурс на решение задачи: «Сыскать подлинную Электрической силы причину и дать точную ее теорию». Программа этого конкурса, написанная рукой Ломоносова, является необычайно ценным документом из истории естествознания.

«Хотя, — подчеркивается в программе, — не мало уже есть рассуждений, которые для истолкования Электрических явлений написаны, а некоторые и награждения удостоены, однако, нет сомнения, что множество опытов, которые после того учинены и разность явлений, что недавно примечены, больше ясности рассуждениям о Электрической силе принести имеют. Того ради Санктпетбургская Императорская Академия Наук всем натуриспытателям, при обещании обыкновенного награждения сто червонных, на 1755 г. к первому числу июня месяца для решения предлагает, чтобы сыскать подлинную Электрической силы причину и составить точную ее теорию. Причем, сверх тех предуведомлений, которые к задачам обыкновенно присовокупляются, также и следующее предложить за полезно рассудила. Остроумные произвольные положения, которые искуснейшие естественных таинств испытатели для изобретения Электрической теории употребляли, не довольно быть кажутся к истолкованию недавно найденных свойств Электрических, и сей недостаток произошел от того, что некото-

рые к составлению подлинной Электрической теории самые нужнейшие вещи не довольно наблюдаемы были».

Ученые современники Ломоносова уподобляли «электрическую материю» жидкости и огню. В литературе того времени встречаются выражения «электрическая жидкость» и «электрический огонь». Однако выявленные свойства электричества во многих случаях показали, что такому уподоблению противоречат многие факты.

В программе конкурса Петербургской академии наук отмечается: «Электрические явления много имеют общего со свойствами огня, много также и совсем противного. Пример первого есть, что огонь силою Электрическою возбуждается, второго, что Электрическая сила в произвождении своем огнем воспящается: например, стекла, которые очень горячи, не могут произвести Электрической силы. При том сквозь раскаленное железо равно, как и сквозь лед сила сия распространяется. Того ради, по нашему мнению, должно осторожно смотреть и различать, что в причине произвождения Электрической силы и огня есть общее и что особенное. Ежели все сие точно и подробно будет рассмотрено и разобрано то без сумления большей ясности и света рассуждающим о Электрической силе надеяться можно».

Далее в той же программе указывается, что «представить можно три разные движения тончайшей Электрической материи, которая сквозь скважины тел ходит, то-есть: прохождение, вертение и трясение». Было необходимо, следовательно, чтобы «точная теория» дала ответ и на этот вопрос.

Из приведенного отрывка видно, сколько накопилось нерешенных вопросов в области теории электричества. Эти вопросы не переставали занимать внимание исследователей и целых научных корпораций. Сам Ломоносов также предпринял изыскание в этом направлении. В архиве Академии наук сохранилась начатая им рукопись «математической теории электричества».

Своими гениальными пионерскими исследованиями и трудами в разных областях литературы и естествознания, в том числе и в области электричества, своим бесстрашным и мужественным служением родине Ломоносов высоко поднял знамя передовой русской науки, чем и заслужил себе бессмертную славу.

# Современное состояние и важнейшие задачи производства электроизоляционных материалов

(К расширенному совещанию по электроизоляционным материалам в Москве)

**В. С. КВАШНИН и Б. М. ТАРЕЕВ**

**ТРУДНО** переоценить значение электрической изоляции в современной электротехнике. Основные качества электрических машин и аппаратов: надежность в работе, срок службы, габариты и вес, а следовательно, и стоимость, в весьма значительной степени зависят от качества электроизоляции. Одной из главных причин большинства всех аварий машин является пробой, т. е. недостаточная электрическая прочность изоляции.

Однако, несмотря на свое серьезное значение, производство электроизолирующих материалов является пока одним из отстающих участков нашей электропромышленности. Количественный выпуск большинства электроизолирующих материалов резко отстает от потребности электромашино- и аппаратостроительных заводов, не говоря уже о потребности мелких электротехнических предприятий и всевозможных ремонтных работ. Так, совершенно недостаточным является выпуск электроизоляционных лакотканей Московским электроизоляционным заводом (МЭИЗ), по существу — единственным производителем лакотканей (кроме завода «Электросила» им. Кирова, изготавливающего лакоткани в основном для собственных нужд). Потребность в лакотканях удовлетворяется лишь в крайне ограниченных размерах, что часто влечет за собой излишнее расходование весьма дорогой и дефицитной слюды.

Размеры производства листового гетинакса, гетинаксовых цилиндров и трубок и других видов волокнисто-бакелитовой слоистой изоляции, поставленного на заводе «Изолит», также не удовлетворяют потребностей электротехнических заводов.

Большие затруднения испытывают электромашино- и аппаратостроительные, а также кабельные заводы из-за недостаточного обеспечения их электроизоляционными лаками и эмалями, различными видами миканитовой изоляции, прессовочными порошками, высоковольтными кабельными бумагами, электрокартонами и т. д.

Но не только количественный недостаток характеризует отставание производства электроизолирующих материалов. Еще более проявляется это отставание в ограниченности ассортимента выпускаемых изоляционных материалов и часто совершенно недостаточном их качестве. Так например, перед лакокрасочной промышленностью еще пять лет назад была поставлена задача освоения всего требуемого ассортимента электроизоляционных лаков, эмалей, паст и компаундов. Однако до настоящего времени не освоено производство даже тех номеров лаков и эмалей, рецептура которых разработана и вполне проверена в производственных условиях в лаковарочных мастерских ХЭМЗ и завода «Электросила». Заводами Главкраски не изготавливаются масляно-асфальтовый покровный лак типа № 462/п, лак для обмазочной пасты «Элси», пропиточный лак типа № 447 и др.

Какой-либо работы по организации производства новых более совершенных электроизоляционных лаков, эмалей и паст, необходимых для изготовления электрических машин и аппаратов с водостойкой изоляцией, с изоляцией, устойчивой против действия различных химических реагентов, с теплостойкой, теплопроводной изоляцией и др., в системе лакокрасочной промышленности — ни в научно-исследовательском институте лаков и красок, ни в заводских лабораториях — не ведется.

Московским электроизоляционным заводом выпускаются лишь светлые лакоткани на основе масляных лаков, по качеству часто не удовлетворяющие предъявляемым электропромышленностью требованиям. Черные лакоткани на асфальтовых лаках с повышенными электрическими характеристиками (высокая электрическая прочность, малые диэлектрические потери) заводом МЭИЗ не изготавливаются. В небольшом количестве, в основном для собственных нужд, черные лакоткани производятся лишь на заводе «Электросила»; другие же заводы, как правило, не имеют возможности использовать всех преимуществ применения черных лакотканей.

Не изготавливаются у нас диагональные изоляционные лакоткани, применение которых позволяет значительно сократить отходы при разрезке лакотканей с нормальным расположением нитей основы и утка на диагональные ленты, а также повысить производительность при изолировке путем применения длинной непрерывной диагональной ленты в роликах.

Не поставлено производство изоляционных лакобумаг как светлых на основе масляных лаков, так и черных на асфальтовых лаках, могущих найти значительное применение в электроизоляционной технике.

Из-за отсутствия производства бумаги необходимого качества электротехнические заводы при изготовлении микаленты до настоящего времени частично пользуются импортной длинноволокнистой бумагой. Применяемые в производстве микаленты бумаги-заменители обладают пока серьезными недостатками, которые значительно затрудняют процессы производства и в отдельных случаях приводят даже к снижению запасов электрической прочности в изоляции. Недостаточная механическая прочность бумаг, используемых в качестве заменителей, приводит к частым обрывам микаленты в процессе изолирования и к снижению производительности труда изолировщиков; повышенная толщина бумаг при наложении нескольких слоев микаленты вызывает или нежелательное увеличение общей толщины изоляции, или вынуждает уменьшать количество накладываемых слоев микаленты, что естественно снижает запас электрической прочности.

Производство отечественной специальной бумаги для микаленты с требуемыми техническими харак-

теристиками до настоящего времени не поставлено, хотя способ изготовления такой бумаги был разработан Центральным институтом бумаги еще в 1937 г., причем опытные образцы этой бумаги, испытанные в производственных условиях на электро-технических заводах, дали вполне положительные результаты.

Из года в год сильнооточная электропромышленность испытывает острый недостаток в слюде, так как размеры добычи и обработки ее резко отстают от потребности. За последнее время имеет место уменьшение поставки электротехническим заводам слюды флогопит, что объясняется истощением запасов разрабатываемых месторождений этого вида слюды.

В то же время геологоразведочные работы по изысканию новых месторождений слюды, в частности флогопита, производятся в недостаточных масштабах.

К числу основных причин отставания в области электрической изоляции нужно отнести: недостаточность и неорганизованность существующей производственной базы по выпуску изолирующих материалов и весьма слабое развитие смежных производств, поставляющих сырье и полуфабрикаты для изготовления электроизоляции.

Производителями ответственных электроизолирующих материалов являются относительно мелкие предприятия, нередко с полустарыми методами производства и часто не обеспеченные необходимыми кадрами. Производство ряда материалов разбросано по многим заводам, не имеющим всех требуемых условий для выпуска высококачественных изоляционных материалов.

Так, миканиты производятся на заводах МЭИЗ, АТЭ-1, ХЭМЗ, «Электросила», «Динамо» им. Кирова и 2-й слюдофабрике; электроизоляционные лаки и эмали — на ХЭМЗ, «Электросила», МЭИЗ, Краснопресненском и Ярославском лакокрасочных заводах; волокнисто-бакелитовая слоистая изоляция — на заводах «Изолит», «Электросила», ХЭМЗ и др. Значительное количество разнообразных видов изоляции электропромышленность получает со стороны — от других отраслей промышленности.

Одним из первоочередных мероприятий по ликвидации отставания в области электроизоляционной техники следует считать форсирование строительства нового специализированного завода электроизоляционных материалов — ЗЭИМ. Однако состояние и темпы строительных работ этого завода не обеспечивают пуска в эксплуатацию отдельных цехов в требуемые сроки. Необходимо в 1940 г. ввести в эксплуатацию пропиточный и лако-бакелитоварочный цехи с одновременным развертыванием строительства и подготовки к пуску намоточного, прессовочного и миканитового цехов.

В целях обеспечения электропромышленности высококачественными изоляционными материалами необходимо создать в смежных отраслях промышленности (помимо организации производства длинно-волокнистой бумаги для микаленты, летеорида, листовой и круглой фибры толщиной свыше 25 мм, лакобумаги и др.), узкоспециализированные цехи по производству полуфабрикатов для изоляции (электроизоляционные бумаги и картон, хлопчатобумажные и шелковые ткани, изоляционные масла

и пр.) с обязательным обеспечением этих производств стандартным высококачественным сырьем.

\*\*\*

Приведем несколько наиболее характерных примеров, иллюстрирующих положение электроизоляционной техники в СССР и за границей и стоящие перед нашей техникой задачи.

Крупным достижением советской электроизоляционной техники явился совол, разработанный в ВЭИ К. А. Андриановым. Совол — негорючий жидкий диэлектрик, по химическому составу представляющий собой хлорированный ароматический углеводород-дифенил. Совол достаточно стабилен химически и выдерживает длительно рабочую температуру до 150°. Так как совол обладает значительной вязкостью, к нему может добавляться более жидкий трихлорбензол; получаемая жидкость, названная совтолом, сохраняя негорючесть, имеет вязкость, достаточно низкую для применения в трансформаторах и в аналогичных случаях.

Пробивное напряжение совола — того же порядка, что и трансформаторного масла, но диэлектрическая проницаемость совола, являющегося типичным дипольным веществом, — много выше, чем электрически нейтрального трансформаторного масла (примерно 5,5 против 2,2). Это обстоятельство имеет двойное значение: во-первых, совол в применении для пропитки бумажных конденсаторов вместо трансформаторного масла дает возможность получить большую емкость при тех же габаритах конденсатора; во-вторых, в пропитанной слоистой бумажной изоляции в тех же конденсаторах, а также кабелях, трансформаторах и пр. более значительная диэлектрическая проницаемость жидкости создает более благоприятные условия распределения поля между пропитанной бумагой и прослойками жидкости между листами бумаги, что приводит к повышению напряжения начальных разрядов.

Интересна возможность применения совтола для заполнения трансформаторов с волокнистой стеклянной изоляцией обмоток, хотя в этом случае желательно было бы применение жидкости с еще более высокой теплостойкостью.

Особое значение имеет совтол для получения невзрывающихся трансформаторов и пр. в местах, где требуется абсолютная пожарная безопасность (шахты, здания такого значения, как Дворец Советов, и т. п.).

Из других хлорированных углеводородов отметим хлорированный нафталин — галовакс, пригодный для применения в качестве вязкого пропиточного состава для конденсаторов большой емкости.

Кроме совола, можно также отметить начинавшее находить за последнее время применение касторовое масло — оно дает возможность иметь несколько более высокую рабочую температуру, чем трансформаторное масло, практически негорюче, не действует вредно на резину. Большой интерес представляет изучение богатого ассортимента союзных растительных масел — как высыхающих, так и невысыхающих — с целью изыскания новых электроизоляционных материалов; очевидно, что при изыскании новых материалов мы отнюдь не должны заранее замыкаться в рамки только одних синтетических продуктов, хотя преобладающая роль синтетики в составе новых электроизоляционных материалов вообще и очевидна.

В области газообразных диэлектриков имеется ряд достижений. Открыты газы (хлорированные и фторированные углеводороды), имеющие особо высокую пробивную прочность (например дифтордихлорметан или фреон  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  имеет пробивную прочность почти в 3 раза большую, чем воздух; этот газ стабилен химически, не огнеопасен, не ядовит).

Применение газовой изоляции в чистом виде или в комбинации с волокнистой изоляцией (пробивная прочность волокнистой изоляции определяется главным образом пробивной прочностью газа, заполняющего промежутки между волокнами) очень выгодно принципиально, так как газ обладает исчезающе малыми проводимостью и диэлектрическими потерями и может выдерживать высокие температуры (воздух, азот, дифтордихлорметан и пр. должны быть отнесены к изоляции класса С), хотя недостаток газовой изоляции заключается в необходимости герметизации.

При использовании особых газов или особых давлений представляется целесообразным выбор теплостойких сопровождающих твердых изоляционных материалов (например, асбест, волокнистое стекло и т. п.). Упомянем здесь же об идее применения сжатого газа в высоковольтных кабелях, пока что правда не примененной в чистом виде к развиту электромашиной изоляции.

Говоря о газовой изоляции, отметим попутно благотворное влияние на долговечность изоляционных органических материалов устранения их соприкосновения с воздухом и замены последнего химически инертным газом (азотная защита трансформаторов — очень яркий пример такого защитного действия химически малоактивного газа). Имеются основания предполагать, что в машинах с замкнутым водородным охлаждением возможно иметь более высокую тепловую напряженность при сохранении тех же типов электрической изоляции, что и в обычных машинах с воздушным охлаждением. Отметим еще в качестве новинки герметизацию и заполнение углекислым газом машин, работающих в особо пожаро- и взрывоопасных местах (опасные по газу шахты и пр.) — по сведениям американской печати.

Упомянем здесь же, что к повышению теплостойкости лаков и т. п. изоляционных материалов, помимо изменения газовой среды, могут также привести изменение материала основы, на которую наносится лак (например, по данным работ М. И. Мантрова в МЭИ и К. А. Андрианова в ВЭИ, лаки, нанесенные на алюминий, более теплостойки, чем те же лаки, нанесенные на медь). Имеются предпосылки для успешного повышения теплостойкости эмалей и пр. лужением проволоки или отжигом медной проволоки в восстановительной атмосфере, а также добавлением к лаку (или маслу и т. п.) ингибиторов, т. е. отрицательных катализаторов старения (антиоксидантов). Эти вопросы нуждаются в серьезном экспериментальном изучении.

Весьма интересный и важный новый материал — тонковолокнистое стекло («стеклошелк»). Стеклошелк был впервые разработан в производственном масштабе в США фирмой Оуэнс-Иллинойс и в настоящее время, т. е. спустя 2—3 года после начала его производства, получал в США и Германии уже практическое применение и частично вытесняет ас-

бест. Опытные работы по разработке и освоению этой изоляции проводятся и в СССР.

Применение стеклошелка основано на том, что нити из стекла, как и из других материалов, при уменьшении диаметра весьма резко повышают механическую прочность на разрыв и эластичность, поэтому нити толщиной порядка 2—5  $\mu$  имеют временное сопротивление на разрыв, превосходящее соответствующие значения для всех других волокнистых материалов и настолько гибки, что свободно обрабатываются методами текстильной промышленности. Текстильные изделия из стеклошелка получаются значительно тоньше и прочнее, чем из асбеста, а теплостойкость их выше асбестовых. Гигроскопичность стеклянного волокна меньше, а электрические свойства выше, чем всех других волокнистых диэлектриков.

Помимо стеклошелка, следует добиваться получения и тонких кварцевых нитей — «кварцешелка», так как эти нити должны еще более превосходить стеклянные по механической прочности, высоким диэлектрическим характеристикам и малой гигроскопичности.

Проблема применения стеклошелка неразрывно связана с вопросом его пропитки, так как в непропитанном виде он может применяться лишь при сравнительно малых напряжениях или в комбинации со специальными газообразными или жидкими диэлектриками. Пропитка должна производиться достаточно теплостойкими веществами — иначе слишком сильно будет снижена теплостойкость, которую может дать сам стеклошелк.

Большое применение, как теплостойкий волокнистый материал, продолжает находить асбест. В Союзе имеется ряд достижений по выработке асбестовых электроизоляционных препаратов, но здесь, для того чтобы догнать зарубежную технику, предстоит еще много сделать. Нам необходимо обеспечить регулярное снабжение электротехнической промышленности высококачественным незагрязненным асбестом — это обязательное условие, без которого невозможно серьезно продвинуть вперед дело повышения качества асбестовой изоляции. Необходимо улучшить асбестовые бумаги, повысить их прочность и снизить толщину; следует поставить выработку тонкого асбестового текстиля. Высоковольтному электромашиностроению необходимо иметь полупроводящий асбест для улучшения распределения потенциалов в местах выхода секций из пазов статора; нам необходимо разработать технологию получения полупроводящего асбеста, не уступающего по свойствам зарубежному. С той же целью выравнивания потенциалов в местах выхода секций из пазов применяются и полупроводящие лаковые покрытия; но наши союзные полупроводящие лаки (сажевые) еще недостаточно высоки по свойствам, так как сильно подвержены тепловому старению.

Исключительный интерес представляет проблема искусственного получения слюды или, точнее говоря, продукта, весьма напоминающего по свойствам природную слюду. Попытки получения слюды синтезом (сплавлением окислов, входящих в состав слюды, с применением весьма больших давлений и высоких температур) не привели пока что к положительным результатам, так как они дают возможность получения лишь очень малых кристалликов



слюды, причем процесс получения их крайне сложен и дорогостоящий.

Поэтому надо с особым вниманием отнестись к сообщениям, появляющимся за последнее время в керамической и коллоидно-химической литературе, о коллоидных свойствах специальных типов глин (бентонитов) и о возможности получения из водных суспензий этих глин осажденных пленок, которые после обработки (повидимому, с применением высоких давлений и температур) дают возможность получить продукт, чрезвычайно схожий по свойствам с натуральной слюдой.

Наиболее интересные работы в направлении получения искусственной слюды «alsifilm», как ее называют от слов *aluminum silicium-film*, т. е. пленка на основе алюминия и кремния, ведутся в Технологическом институте в Кембридже (США, штат Массачусетс) под руководством Эрнеста Гаузера. У нас в Союзе проведены лишь некоторые предварительные опыты в этом направлении.

Громадное применение в электроизоляционной технике за последние годы получили пластические массы. Достаточно в виде примера сослаться на значение пластических масс в современном электроаппаратостроении, где внедрение нового материала — пластмассы — решительно изменило ряд конструкций и технологических процессов. Ассортимент и качество пластических масс, применяемых в зарубежной технике, намного выше тех, которыми располагаем мы.

К числу достижений в области пластмасс должны быть отнесены опрессовка секций машинных обмоток пластмассами, изготовление магнитных клиньев для электрических машин, применение различных пленок в качестве листовых электроизоляционных материалов (проводившиеся у нас работы с ацетил-целлюлозными пленками недостаточны, так как не исчерпывают всего богатства возможностей подбора пленкообразователей), применение пластмасс в качестве заменителей дорогой, тяжелой, дефицитной и подверженной в определенных условиях химической и вибрационной коррозии свинцовой оболочки кабелей и пр. В области пластических масс и пленкообразователей имеется особенно много и разного рода новых веществ — это главным образом синтетические высокополимерные вещества, как-то производные винил — стирольные массы, винилхлоридные производные, акрилаты, смешанные полимеры и конденсаты и пр. Многие из названных веществ характеризуются особо высокой химической стабильностью (например, винил-хлоридные соединения), почему могут найти себе применение в качестве химически стойкой электрической изоляции.

Новый принцип в изготовлении пластмасс, содержащих органическое связующее или пропитывающее средство, — введение этого вещества в смесь волокнистого наполнителя и других составных частей пластмассы с большим количеством воды и размешивание этой смеси в ролле («суспензионный» способ). При этом устраняется необходимость в последующей пропитке как отдельной удорожающей производством операции и достигается глубина и равномерность пропитки. Завод ХЭМЗ по инициативе В. И. Калитвянского несколько лет назад организовал суспензионную пропитку битумом асбоцемента.

Неоконденсит, изобретенный инж. Эдельштейном,

представляет собой весьма любопытный пример пластмассы, полученной суспензионным способом из бумажного волокна и бакелита; последний конденсируется при соприкосновении с волокном. Неоконденсит, как и герколитовые бумажносмоляные композиции, не требует для своего изготовления растворителя (спирта): его высокие качества объясняются весьма равномерной пропиткой.

Из числа новых органических пленкообразователей особенно должен быть упомянут найлон, разработанный Каросерсом и выпускаемый концерном Дюпон (США), синтетический полимер весьма сложного состава (типа полиамидов). Судя по недостаточно проверенным литературным сведениям, найлон, выпускаемый как в виде пленок и изделий горячей прессовки типа термопластов, а также в виде волокон, обладает прекрасными диэлектрическими характеристиками, очень большой механической прочностью, значительной вытяжкой и эластичностью и рабочей температурой в пределах от  $-70^{\circ}$  до  $+200^{\circ}$ . Применение найлона для пленочной и формованной изоляции, текстиля, лаков и эмальпроводов должно представить исключительный интерес.

Как известно, к числу наиболее теплостойких изоляционных материалов принадлежат неорганические материалы. Тем не менее благодаря ряду ценных технологических особенностей и других свойств широкое применение в электрической изоляции нашли смолы, масла, битумы и многие другие органические материалы в виде лаков, компаундов, пленок, волокон и пр. Большой интерес представляют работы, проводимые К. А. Андриановым в ВЭИ по смешанным соединениям — органическим соединениям, содержащим в своем составе наиболее характерный для минеральных веществ элемент — кремний. Такие кремнеорганические вещества отличаются повышенной теплостойкостью по сравнению с чисто органическими веществами. В настоящее время уже имеются кремнеорганические смолы; конечным результатом работ с этим видом соединений должно явиться получение теплостойких кремнеорганических волокон и пленкообразователей.

Существенным принципиальным недостатком лаков по сравнению с другими типами пропиточных средств является наличие растворителя. Растворители при сушке пропитанных изделий в большинстве случаев пропадают бесполезно, так как рекуперация летучих растворителей — в достаточной степени сложный процесс; это приводит к повышению стоимости процесса лакировки и к расходованию дефицитных материалов. Многие растворители (в частности, ароматические углеводороды и хлорпроизводные) вредны для работающих; при пользовании ими требуется устройство специальной вентиляции и принятие других мер охраны труда. При отсутствии в составе лаков растворителей нежелательно и с чисто технической точки зрения, так как приводит к снижению качества глубокой пропитки.

В связи со сказанным существенный интерес представляет введение в качестве пропитывающих средств компаундов, смол и т. п. веществ. Чрезвычайно интересна проблема «монолитной» изоляции секций или катушек, пропитанных смолой без растворителя под весьма высоким давлением. Компаундирование за последние годы вообще завоевывает все более широкое поле применения в электроизоляционной технике; вводится заливка компаундами



всякого рода зазоров в изоляции, что приводит к улучшению условий теплопередачи и влагостойкости и пр.

Крупным достижением в области технологии компаундирования является «тренировочный» процесс, освоенный на ХЭМЗ. Сущность его сводится к тому, что изделие, предназначенное для пропитки, заливается расплавленным компаундом, подвергается большому давлению, затем давление снимается, опять повышается и т. д. При сбрасывании давления остатки воздуха и других газов в порах изделия вытесняются, что улучшает и ускоряет пропитку.

К ряду изоляционных материалов приложим принцип наполнения с целью повышения тех или иных свойств. При введении наполнителя, по большей части кристаллического, в аморфное вещество мы в соответствии с законами коллоидной химии наблюдаем повышение вязкости вещества. Легко показать, что практически это приводит к повышению механической прочности при данной температуре и к более медленному снижению механической прочности при возрастании температуры, т. е. в конечном счете к повышению теплостойкости материала. Примерами наполненных систем являются различные пластмассы, пигментированные лакокраски, вегахромоксид, микалекс (система стекло — слюда), наполненные стеклоэмали (эмаль-компаунд Н. В. Александрова — система стекло — неоплавленный кварц, стеклоэмаль ХЭМЗ — система стекло — полевой шпат) и пр. При наполнении стекол мы получаем значительное снижение хрупкости и повышение прочности.

Применение наполнения значительно расширит область применения стеклоэмалей (класс С теплостойкости) в электромашиностроении (работы ВЭИ, ХЭМЗ и пр.); пока что стеклоэмали нашли себе применение главным образом в электроаппаратостроении.

Принцип наполнения играет большое значение и для улучшения теплопроводности изоляции, оказывающей большое влияние на предельную мощность в данных габаритах электрической машины или аппарата и при данном типе изоляции. Майснер в Германии подверг детальному анализу возможности повышения мощности электрических устройств в результате повышения теплопроводности изоляции и предложил для повышения теплопроводности заливочных компаундов применять наполнение последних кристаллическим веществом, например, кварцем (кварц-компаунд).

Работы по кварц-компаунду и аналогичным веществам велись и в СССР (ВЭИ, ХЭМЗ, завод «Электрик», завод «Динамо» им. Кирова). Увеличение мощности электрических машин и других устройств может быть достигнуто не только заменой нормальных заливочных масс кварц-компаундом и заполнением кварц-компаундом воздушных зазоров, но также тщательным пересмотром системы изолирования катушек от корпуса, пересмотром системы пропитки катушек и устройства междуслойной изоляции, устранением дополнительных покрытий обмоток, мешающих отводу тепла, введением металлических деталей с развитой поверхностью для улучшения отвода тепла, обработкой поверхностей с целью повышения коэффициента теплоотдачи. Весьма интересные работы в этих направлениях

проделаны заводом ХЭМЗ (В. И. Калитвянский С. В. Цукерник); отметим также разработанные К. И. Черняком (завод «Электрик») конструкции «дисковых» катушек с воздушными зазорами между отдельными плоскими дисками, образующими катушку — с целью повышения охлаждающей поверхности.

Мы располагаем довольно большим ассортиментом типов обмоточных проводов, но в части улучшения их качества надо сделать еще много. Большое значение имеют теплостойкие обмоточные провода. До сих пор единственным типом теплостойкого провода, производящегося в СССР в промышленном масштабе, является дельтаасбестовый провод, т. е. провод с накатанной изоляцией из асбестовой ровницы с подклейкой и пропиткой. Провода эти имеют повышенные габаритные размеры изоляции, недостаточную ее равномерность и механическую прочность. Провода, изолированные стеклянным шелком, осваиваются заводом «Москабель»; эти провода также уступают по своим свойствам американским — они имеют недостаточную механическую прочность и пробивную напряженность изоляции, последняя, значительно ниже, чем у американских проводов того же типа. Таким образом нашей кабельной промышленности предстоит еще большая работа по освоению и улучшению этого важного полуфабриката.

Из других типов теплостойких проводов могут быть названы алюминиевые оксидированные провода, которые в СССР не нашли большого применения, видимо, надежды, возлагавшиеся на них в свое время, оказались преувеличенными. Отрицательными свойствами оксидной изоляции на алюминии являются ее пористость и малая эластичность, положительные — высокая теплостойкость и малая толщина. Однако в ограниченном ряде случаев (тормозные и в особенности подъемные электромагниты, некоторые катушки возбуждения, отдельные типы трансформаторов) оксидная изоляция была бы вполне целесообразной. Это подтверждается и продолжающейся работой по оксидной изоляции за рубежом.

К числу интересных теплостойких проводов должны быть отнесены провода с микафолиевой изоляцией, выпущенные заводом «Москабель» по инициативе В. А. Привезенцева. Несмотря на то, что слюдяная изоляция этих проводов работает в сильно изогнутом состоянии, изоляция этих проводов обнаруживает хорошие электрические свойства при теплостойкости по классу В.

У нас должны развиваться и другие типы обмоточных проводов — эмальпровода, включая различные специальные типы их, провода с волокнистой органической изоляцией (в частности, провода с изоляцией бумажными лентами); большой интерес представляет освоенное в СССР пока лишь для слабых проводов на заводе «Севкабель» покрытие проводов непрерывным слоем бумажной массы.

Необходимо отметить значительный прогресс в области повышения качества эмальпровода. За границей (США) эмальпровода стала уже основным, ведущим типом продукции заводов, производящих обмоточную медь. Проволока «формекс», покрытая поливинилформалем, отличается особой теплостойкостью, эластичностью и прочностью изоляционного слоя. Наша кабельная промышленность

воды «Москабель» и «Севкабель») освоила глицериновую эмальпроводоку, отличающуюся повышенной теплостойкостью по сравнению с проволоками на масляной эмали, а также двухслойную эмаль, обеспечивающую значительную непрерывность слоя изоляции на проволоке, однако нашей кабельной промышленности нельзя останавливаться на достигнутых успехах и надо смелее продолжать поиски новых теплостойких и стойких к действию растворителей эмалей для эмалировки проволок.

Далее, в области теории электрической изоляции необходима большая и серьезная работа. Советская наука имеет в своем активе ряд крупнейших достижений по разделам, непосредственно относящимся к области электрической изоляции; но промышленность ставит перед теорией все новые и новые задачи. Помимо достижений в области физики диэлектриков, для продвижения вперед дела практической электроизоляционной техники особенно необходим прогресс областей химической науки —

химии органической, силикатной, высокомолекулярных соединений коллоидной и пр. Коллоидная химия и химия высокомолекулярных соединений особенно важны для разрешения ряда проблем лаковой техники, техники пластических масс, вопросов эксплуатации масляных хозяйств электрических установок и пр. Теория электрической изоляции должна занять ведущее место в электроизоляционной технике: предугадывание свойств новых материалов в связи с их структурой и текстурой, точный расчет новых электрических конструкций должны вытеснить кустарное экспериментирование и поиски разрешения вопросов многочисленными, нередко недостаточно обоснованными попытками подбора приемлемого решения.

Отставанию электроизоляционной техники у нас должен быть решительно положен конец. Электроизоляционная техника Союза, как и другие отрасли техники социалистического государства, должна занять передовое место в мировой технике.

## Задачи научного исследования электрической изоляции в сильноточной электропромышленности

**Ю. В. КОРИЦКИЙ**

*Всесоюзный электротехнический институт*

На современном уровне электропромышленности электрическая изоляция имеет первостепенное значение. Без высококачественной изоляции не может быть надежных машин и аппаратов, безаварийно работающих в течение нормального амортизационного срока. Более того, прогресс ряда отраслей электропромышленности находится в прямой зависимости от уровня электроизоляционной техники.

Решение ряда важнейших задач электропромышленности возможно лишь на базе вновь создаваемых изоляционных материалов, обладающих различными специфическими свойствами. Очень часто среди старого ассортимента изоляционных материалов ни один не может удовлетворить тем требованиям, которые предъявляет усложнявшаяся, достигшая более высокого технического уровня та или иная отрасль народного хозяйства.

Новые виды и типы электроизоляционных материалов обычно создаются лишь в результате проведения глубоких научно-исследовательских работ, использующих все достижения современной науки.

За годы сталинских пятилеток научно-исследовательская работа по электрической изоляции сделала большие успехи, способствуя прогрессу советской электропромышленности. В деле освоения передовой зарубежной техники научно-исследовательские работы заводских лабораторий и ВЭИ сыграли очень большую роль. Был освоен ряд новых изоляционных материалов (лаки, пластмассы, микалента, картон типа элфантайд и т. д.), новые процессы технологии изолировки. К этим работам привлекались научно-исследовательские организации смежных отраслей промышленности.

Разработанные ВЭИ негорючие изоляционные жидкости совол и совтол позволяют значительно увеличить мощность выпускаемых статических конденсаторов, создать вполне пожаро- и взрывобезопасные трансформаторы. Новая разработанная в ВЭИ в 1939 г. смола из вполне доступных отечественных материалов (оксифенила и формалина), растворимая в растительном масле, дала положительное решение задачи получения электрических машин с изоляцией, стойкой против действия влаги, керосина, щелочных эмульсий. Предложенный ВЭИ в 1937 г. хлорвиниловый лак дает возможность получения изоляции, удовлетворяющей ряду требований по химстойкости электрооборудования. К сожалению, внедрение результатов научно-исследовательских работ в практику происходит довольно медленно. В качестве примера можно привести положение с лакобумагой. Технологический процесс ее производства был разработан в Центральной лаборатории московского «Электрозавода» им. Куйбышева еще в 1937 г. На заводе «Электросила» им. Кирова была выработана опытная производственная партия лакобумаги из отечественного сырья, по качеству не уступавшая хорошей импортной лакобумаге. Однако до сих пор ни где в Союзе еще не налажено производство лакобумаги. Причиной этого в основном является отсутствие хорошо оборудованной производственной базы.

Хлорвиниловый лак до сих пор также не внедрен в промышленность. Здесь сказывается недостаточная оснащенность пропиточных цехов на электромашиностроительных заводах, в частности, отсутствие должной вентиляции.

Или, например, рассмотрим вопрос о водостойкой изоляции.

Наряду с ВЭИ по водостойкой изоляции работали крупнейшие заводские лаборатории, избравшие разные пути решения этой задачи. Лаборатория завода «Электросила» шла по пути увеличения числа пропиток наиболее водостойкими промышленными лаками. Этим путем удалось только уменьшить до известной степени скорость отсыревания изоляции машин; вопрос получения влаго- и водостойкой изоляции решен не был. Не разрешили пока этот вопрос и работы ХЭМЗ, заключавшиеся в получении монолитной изоляции на основе тунгового масла. Лаборатория завода «Динамо» им. Кирова пытается решить задачу компаундированием вращающихся частей электрических машин, но до сих пор не удалось устранить разбрызгивание компаундной массы.

Проведение научно-исследовательских работ по решению одной и той же проблемы в разных местах мы считаем правильным, при хорошей координации всех работ. При такой координации и обмене опытом некоторые направления в исследовании, связанные с большими трудностями в работе и не сулящие никаких преимуществ, могли бы быть закрыты. Между тем все крупные заводские лаборатории уже запланировали на 1940 г. большие суммы на проведение работ по получению водостойкой изоляции самыми разнообразными способами, в том числе заведомо не имеющими преимуществ перед способом, разработанным ВЭИ. В качестве положительного примера правильно организованной работы можно указать на разработку теплостойкой эмали-проводки на основе глифталевой эмали. Эта работа проводилась производителем — заводом «Москабель», и заводами-потребителями с привлечением лаборатории электроматериалов МЭИ и благодаря координации усилий дала успешные результаты.

При оценке роли научно-исследовательских работ следует иметь в виду то большое значение, которое имели заводские лаборатории в освобождении отечественной электропромышленности от импортных материалов. Замена импортного гильсонита краснодарским битумом осуществлена в основном на базе работ лаборатории ХЭМЗ. Работы ряда заводских лабораторий по замене шеллака и копала, которые по своему происхождению не могут быть получены непосредственно в СССР, увенчались в 1939 г. полным успехом. То же самое можно сказать и о тунговом масле, сокращение потребления которого следует считать временным, до развития в необходимых масштабах его производства в СССР. Анализ тематики научно-исследовательских работ заводских лабораторий и ВЭИ за последние годы показывает, что она довольно широко охватывает основные вопросы по электроизолирующим материалам и технологии изолировки.

Теперь необходимо поднять советскую электроизоляционную технику на такой уровень, который позволил бы развивать ее дальше самостоятельными путями и быстрыми темпами.

В настоящее время мы располагаем (хотя и в явно недостаточном количестве) кадрами специалистов по электрической изоляции с высоким теоретическим уровнем и значительным практическим опытом, способных обеспечить развитие советской электроизоляционной техники на новых путях.

Весьма показательными с этой точки зрения являются некоторые работы, например, исследование связи между химическим составом и строением смол и их теплостойкостью, показавшее возможность создания важной рабочей гипотезы в этой области; исследование совершенно нового направления по синтезу пленкообразующих веществ на основе кремнеорганических соединений; работы с глифталевыми смолами, модифицированными парафиновыми кислотами; получение газогенерирующих материалов для прерывателей мощности, выдерживающих количество отключений раз в 10 более, чем импортная фибра.

Для прокладывания новых путей в электроизоляционной технике особенное внимание должно быть обращено на постановку теоретических работ, в частности, по изучению связи между структурой вещества (в аморфном и кристаллическом состоянии) и его электрофизическими свойствами. К сожалению, теоретические темы по электрической изоляции в планах наших научно-исследовательских работ находят недостаточное отражение. Мы считаем, что в этом направлении нашей электропромышленности самую действенную помощь должны оказать научно-исследовательские организации Академии наук СССР и лаборатории вузов.

В планах научно-исследовательских работ еще недостаточно внимания уделяется разработке новых методов исследования и контроля качества изоляционных материалов и изоляции электрических машин и аппаратов, без чего сильно затрудняется и создание новых материалов и усовершенствование старых.

В последнее время в научно-исследовательских работах замечается полезная тенденция к усилению связи с научно-исследовательскими организациями смежных отраслей промышленности. Но как показала практика, эти отрасли промышленности (лакокрасочная и пластических масс), имеющие свои специфические задачи, не могут уделять должного внимания разработке новых электроизоляционных типов своей продукции. Этим объясняется между прочим то отставание, которое мы имеем по электроизоляционным пластмассам. Достаточно указать на то, что на сегодня мы не имеем пластмассы, пригодной для работы в масляных трансформаторах: наилучший (из промышленных типов) пресс-порошок на смолах резольного типа (К-21-22) дает материал с исключительно низкой электрической прочностью при 90° (22 kV/mm). Поэтому следует считать правильным создание с 1939 г. в работах ВЭИ специального направления по пластмассам.

Ценным направлением в научно-исследовательских работах, совершенно необходимым для усовершенствования электрических машин и аппаратов, являются работы по изучению поведения изоляции в условиях эксплуатации. Большой народнохозяйственный эффект дадут эти работы и в виде правильно выбранных методов профилактических испытаний различных видов электрооборудования. Не меньшее значение имеют работы по изучению технологических процессов изолировки.

Наркоматы электростанций и электропромышленности СССР и их технические советы в особенности должны обеспечить необходимое внимание развитию и координации научно-исследовательских работ в области электроизоляционной техники.

# Внедрение заменителей в производство электроизоляционных материалов

**В. С. КВАШНИН**

*Наркомат электропромышленности СССР*

**НА**СКОЛЬКО значительна была всего несколько лет назад зависимость нашей электротехнической промышленности от зарубежной техники, видно из рассмотрения списка импортировавшихся в то время изоляционных материалов. Так, в 1935 г. сильноточной электропромышленностью выписывались из-за границы: асбоцементные электроизоляционные доски, прессшпан для пазовой изоляции электрических машин, элэфантайд (тряпичный электрокартон для изоляции в трансформаторах), ледерпаппе (тряпичный электрокартон для пазовой изоляции), прессшпан для работы в масле, фибра роговая, фибра листовая толщиной свыше 25 мм, фибра круглая диаметром 25 мм и выше, летероид, асбестовые электроизоляционные ленты, лакошелковые диагональные ленты толщиной 0,15 мм, особо тонкий лакошелк, лакобумага, японская длинноволокнистая бумага для микаленты, тунговое масло, шеллак, копалы Каури, Сандарак, Борнео, Мастикс и др.

Можно без преувеличения сказать, что почти ни один вид электрических машин и аппаратуры не выпускался тогда без применения хотя бы в незначительных количествах каких-либо импортных электроизоляционных материалов.

Отсутствие отечественного производства перечисленных видов изоляции не только приводило к необходимости расходовать ежегодно значительное количество валюты, но и ставило сильноточную электропромышленность в недопустимую зависимость от капиталистических стран.

В результате больших работ, проведенных за время с 1935 г., положение к настоящему моменту резко изменилось. За эти годы было организовано отечественное производство и совершенно прекращен импорт всех видов электроизоляционных картонов, асбоцементных досок, асбестовых электроизоляционных лент, тонкого лакошелка; импортные лакошелковые ленты заменены лентами из лакированного шелка отечественного производства; резко сокращен расход остальных импортных изоляционных материалов путем разработки и внедрения различных заменителей.

Особенно большая работа по ликвидации зависимости от капиталистических стран в части электроизоляционных материалов была проведена в истекшем 1939 г.

К началу 1939 г. применение импортных материалов для целей электрической изоляции в сильноточной промышленности ограничивалось следующим списком: шеллак, копалы, тунговое масло, изоляционный лак № 1201, толстая листовая фибра, круглая фибра диаметром свыше 25 мм, летероид и длинноволокнистая бумага для микаленты.

Перед заводами электротехнической промышленности была поставлена задача максимально сократить применение этих материалов путем разработки и внедрения заменителей. Перед смежными отраслями промышленности и, в частности, перед бу-

мажной промышленностью был заострен вопрос о необходимости форсированного освоения отечественного производства требуемых материалов (длинноволокнистая бумага для микаленты, летероид, толстая фибра и др.).

На Харьковском электромеханическом заводе им. Сталина, «Электросила» им. Кирова, «Динамо» им. Кирова и Московском электроизоляционном заводе в 1939 г. были проведены работы по замене шеллака в прокладочном и формовочном миканитах и в производстве микафолия. Разработанные заменители шеллака, в основном состоящие из глифталевой смолы и смеси глифталы с бакелитом и с другими компонентами, позволили получить высококачественные миканитовые изоляционные материалы, не уступающие по своим свойствам миканитовым, изготовленным с применением импортного шеллака.

На заводах АТЭ-1 и ХЭМЗ технически разрешен вопрос о замене шеллака в производстве коллекторных миканитов смолами отечественного производства на основе глифталы.

При детальном лабораторном изучении этого вопроса выявилось, что применение заменителей шеллака в коллекторных миканитах требует внесения некоторых изменений в существующие технологические режимы изготовления миканитов и создания соответствующих производственных условий. В частности, для получения высококачественных коллекторных миканитов на глифтале температура плит прессов при прессовании миканита должна быть повышена примерно до 200°. Это вызывает необходимость проведения соответствующего переоборудования в миканитовых цехах заводов ХЭМЗ и АТЭ-1.

Использование бензола и толуола в качестве растворителей при применении заменителей шеллака требует в отдельных случаях усиления вентиляции в цехах.

Весьма серьезной работы потребовало разрешение вопроса о замене шеллака при лакировке асбестовой бумаги, применяемой в качестве междувитковой изоляции полюсных катушек. Работа, проведенная в этом направлении на заводах «Электросила», ХЭМЗ и «Динамо», дала возможность полностью отказаться от применения шеллака при лакировке асбестовой бумаги, причем примененные взамен шеллака глифтале-бакелитовые композиции позволили повысить качество изолированных катушек.

Шеллак, как изоляционно-клеящий материал, на ХЭМЗ заменен нитроглифтальевым лаком по разработанной лабораторией завода рецептуре; при миканизации полюсов машин постоянного тока шеллак заменен глифталь-бакелитовым лаком.

В результате проделанных работ применение шеллака сведено к минимуму, причем осуществление некоторого переоборудования в цехах должно обеспечить полный отказ от применения шеллака

для целей электрической изоляции в силовых, промышленной.

Весьма серьезного внимания заслуживает вопрос о замене шеллака в производстве формовочных миканитов для конусов малых размеров на заводе АТЭ-1. Применяемый на заводе АТЭ-1 метод холодного штампования конусов не позволяет в этом случае использовать разработанные и применяемые на заводах электропромышленности заменители шеллака для формовочных миканитов. Заводу АТЭ-1 необходимо форсировать работы по изысканию других заменителей шеллака применительно к принятому им методу изготовления коллекторных конусов малых размеров путем штампования.

Большие требования в связи с широким внедрением заменителей шеллака предъявляются к лакокрасочной промышленности, в частности, к заводу «Победа рабочих», который должен обеспечить электротехнические предприятия соответствующим количеством высококачественной глифталевой смолы, входящей в состав большей части разработанных заменителей шеллака. Необходимо также обеспечить поставку фталевого ангидрида и глицерина высшей очистки для глифталевых смол.

Наиболее правильным решением вопроса об отказе от применения импортной длинноволокнистой бумаги для микаленты является организация собственного производства бумаги соответствующего качества.

Трудности в постановке этого производства заключаются в том, что к бумаге для микаленты предъявляются исключительно серьезные требования в части механической прочности в продольном направлении (разрывной груз — 2,5 кг на полосу бумаги шириной 15 см) при одновременном ограничении толщины бумаги величиной порядка 20 м, причем бумага должна обладать хорошей воздухопроницаемостью.

Основным поставщиком такой бумаги на мировом рынке является Япония, применяющая для этих целей волокна специального длинноволокнистого растения.

Учитывая всю важность скорейшего освобождения от иностранной зависимости, электропромышленность вынуждена была пойти по линии применения временных заменителей импортной длинноволокнистой бумаги, используя для этих целей наиболее подходящие сорта из имеющегося ассортимента отечественных бумаг. Были испробованы и в значительной мере внедрены бумаги: оклеечная (динамная), тонкая пропиточная, частично конденсаторная и другие.

Применение перечисленных механически менее прочных бумаг потребовало преодоления определенных трудностей как при изготовлении микаленты на микалентно-машине, так и особенно в процессе изоляционных работ.

С целью получения более высококачественных заменителей на фабрике «Коммунар» по заказу электропромышленности были выработаны опытные партии бумаг видоизмененной композиции с использованием волокон различных специальных растений (рами, катонин и др.), причем часть первых же выработок позволила получить некоторые положительные результаты в смысле повышения характеристик бумаг в требуемом направлении.

Нет сомнения, что дальнейшие работы по полу-

чению тонких более механически прочных и достаточно пористых бумаг должны дать образцы, по требуемым характеристикам еще более близкие к импортным бумагам.

Необходимо всемерно форсировать эти работы с целью обеспечения электропромышленности более высококачественными заменителями до пуска специального цеха по производству бумаги для микаленты по методу Центрального научно-исследовательского института бумаги.

В качестве заменителя импортной бумаги для микаленты в тех случаях, когда требуется особенно большая механическая прочность, может быть использован также специальный тонкий шелк. Применение этого заменителя (правда, значительно более дорогого) в случае необходимости позволит уже теперь полностью отказаться от пользования импортной бумагой для микаленты. В целях экономии шелковой пряжи и удешевления материала при производстве микаленты может быть использован шелк более редкого плетения типа учашенной шелковой марли.

Тунговое масло, широко применяемое за границей и в СССР при изготовлении различной лакокрасочной продукции (например в производстве отдельных номеров электроизоляционных лаков и эмалей), добывается из орехов так называемого китайского масляного дерева — тунга и обладает рядом исключительно ценных свойств.

Способность тунгового масла высыхать одновременно по всей толщине, относительно большая скорость высыхания масла, стойкость против действия влаги и кислот, способность высохшей пленки выдерживать резкие изменения температур и ряд других ценных свойств позволяют получить особо высококачественные лаки и эмали, изготовленные с применением тунгового масла.

Учитывая большое значение тунгового масла для автотракторной, судостроительной, авиационной, электротехнической и других отраслей промышленности, в СССР уже несколько лет ведутся работы по акклиматизации тунга на Кавказе. Промышленная культура тунга начата в Грузии в 1932 г. и в настоящее время там имеются довольно значительные плантации молодых насаждений этого ценного дерева. Успешно ведется работа по акклиматизации тунга в Азербайджане.

Однако сколько-нибудь значительных количеств тунгового масла молодые насаждения тунга до настоящего времени не давали и потребность в тунговом масле покрывалась путем импорта.

В целях освобождения от иностранной зависимости до получения в необходимых количествах отечественного тунгового масла электротехническими заводами, а также Всесоюзным электротехническим институтом разработан ряд рецептов электроизоляционных клеящих, покровных и пропиточных лаков без применения тунгового масла.

Интересно отметить, что некоторые работы, связанные с отказом от применения тунгового масла, позволили не только сохранить, но и повысить качество лаков и эмалей. Так, переход на новую рецептуру глифтале-масляной эмали в кабельной промышленности при эмалировании проволоки позволяет, в частности, повысить теплостойкость эмалевого покрытия проволоки.

В результате проведенных работ импорт тунго-



ного масла для сильноточной электропромышленности в 1939 г. был прекращен. Однако в ряде случаев тунговое масло остается весьма желательным компонентом в электроизоляционных лаках.

В 1939 г. был также положительно решен вопрос о прекращении импорта копалов и электроизоляционного лака № 1201. Замена копалов в производстве электроизоляционных лаков не представляла с технической точки зрения больших трудностей. В качестве заменителей в этом случае используются синтетическая глифталевая смола, а также смола типа «альбертоль». При клееке микаленты копаловый лак может быть заменен также масляно-асфальтовым, изготавливаемым исключительно на отечественном сырье. Качество изоляции электромашин при этом повышается.

Рецептура заменителя импортного покровного лака № 1201 была разработана совместными усилиями работников лаборатории завода «Динамо» и Ярославского завода лаков и красок «Победа рабочих». Разработанный лак удовлетворяет всем предъявляемым требованиям, отличается хорошей эластичностью.

В качестве заменителей летеороида, применяемого в основном для пазовой изоляции электрических машин, электротехническими заводами были испытаны различные сорта электрокартона производства Суражской фабрики «Пролетарий», а также тонкой листовой фибры Кинешемской фибровой фабрики. Проведенные опытные работы улучшенных сортов электрокартонов (повышенной плотности) и всесторонние испытания изготовленных образцов позволили определить наиболее удовлетворительные сорта картонов, могущих служить в качестве заменителей летеороида. Удельный вес картона-заменителя должен быть не менее 1,25.

На основе проведенных работ импорт летеороида в 1939 г. был также прекращен.

Учитывая, однако, что в ряде случаев требуется высокая твердость материала, упругость

и стойкость против проколов (пазовые клинья, изолирование контактных колец, и пр.), следует продолжить работы по подысканию других более высококачественных заменителей летеороида. Проведение этих работ не исключает целесообразности организации отечественного производства летеороида.

Импортная толстая листовая фибра и круглая фибра диаметром свыше 25 mm, применяемая для изготовления различных конструктивных изоляционных деталей, на ряде электротехнических заводов заменена в зависимости от условий работы или составными деталями из более тонкой фибры отечественного производства, или комбинацией отечественной фибры с другими материалами, как-то: гетинакс, текстолит, пластмассы. Проведенная замена позволила полностью отказаться с 1939 г. от импорта фибры.

Пути замены оставшегося весьма незначительного количества импортных материалов (шеллака и длинноволокнистой бумаги для микаленты) также найдены и требуется проведение лишь некоторых организационных мероприятий. В случае же необходимости отказ от применения и этих материалов может быть осуществлен немедленно. Это не означает, конечно, что работы по организации отечественного производства всех требуемых изоляционных материалов для сильноточной промышленности закончены.

Расширенное совещание работников лабораторий и цехов электротехнических заводов с участием представителей научных институтов и смежных производств (бумажная промышленность, лакокрасочная и др.), созванное в конце 1939 г. для обмена опытом внедрения заменителей, подвело итоги проведенных работ по освобождению от иностранной зависимости в части электрической изоляции, констатировало достигнутые успехи и наметило практические мероприятия, необходимые для скорейшего полного отказа от применения импортных материалов.

## Электроизоляционные нефтяные масла и их заменители

**А. К. ВАРДЕНБУРГ**

*Всесоюзный электротехнический институт*

**ПРИМЕНЕНИЕ** и усовершенствование жидкой изоляции, начавшееся в конце прошлого столетия, шло по пути перехода от растительных и животных масел к маслам смоляного и нефтяного происхождения и, наконец, к продуктам химического синтеза, которые в наши дни приобретают все большее значение.

Применение изолирующих жидкостей первых трех типов было незначительным и кратковременным, тогда как нефтяные масла и по сей день прочно удерживаются в электротехнике благодаря своим высоким электроизолирующим свойствам, сравнительно большой стабильности, дешевизне и не дефицитности сырья.

Сернокислотная очистка сырых нефтяных дестиллатов, применяющаяся для удаления нестой-

ких, ненасыщенных и смолообразных веществ, варьировалась главным образом в части количеств затрачиваемой кислоты, давая трансформаторные масла большей или меньшей степени очистки. Разнообразие рецептов очистки и отсутствие достаточных количеств высококачественных масляных дестиллатов привело в ряде стран к многосортности трансформаторных масел. Так например, английский стандарт предусматривает два класса масел — А и В, которые отличаются количеством осадка, образующегося при искусственном старении масел, и максимально допустимой рабочей температурой.

Эта два класса делятся в свою очередь каждый на три группы масел [1] с температурой застывания ниже 0°, —10° и —30°.

Масла высокой степени очистки класса А вы-



годно отличаются от масел умеренной очистки отсутствием образования осадка при старении и большой продолжительностью жизни в случае применения их в герметизированных трансформаторах. Было найдено также, что эти масла, поглощая из воздуха кислород, образуют таким образом в буфере трансформатора инертную и взрывобезопасную газовую смесь [2]. Крупным недостатком масел класса А является их большое кислотообразование. Опыты над маслами обоих классов установили, что к концу шестого месяца искусственного старения масла класса А имеют кислотность в среднем 25,9 mg KOH, класса В 0,71 mg. Большая кислотность, возникающая при старении масел класса А, послужила причиной тому, что они постепенно выходят из употребления и заменяются маслами с меньшей степенью очистки [3].

Качество изолирующих масел находится в зависимости прежде всего от качества исходного сырья, и в этом отношении мы находимся в наиболее выгодном положении, так как наша страна обладает лучшим в мире масляным сырьем (эмбодосские дистиллаты), позволяющим благодаря малому содержанию непредельных углеводородов при минимальной затрате кислоты получать высококачественные масла.

Повышение требований к качеству изолирующих масел в связи с общим прогрессом электротехники, и наличие высококачественного сырья, позволяющего удовлетворить эти требования, обусловило издание нового стандарта (№ 7959-39) на трансформаторное масло, в котором предусматриваются повышенные требования к кислотности, осадкообразованию и вязкости.

Потребность в маслах особо высокой степени стабильности, которые не могут быть получены при обычных методах сернокислотной очистки, а также использование новых, менее дефицитных видов сырья с большим содержанием нежелательных компонентов, привело к экстракционным процессам очистки масел с применением селективных растворителей. Селективная очистка, возникшая в Америке, впервые была применена для получения высококачественных смазочных авто- и авиамасел и быстро получила широкое распространение. Успех селективной очистки объясняется тем, что она представляет собой чисто физический процесс удаления нежелательных компонент (ненасыщенные соединения, смолы, парафин и прочее) из смеси углеводородов масла благодаря их способности к избирательному растворению. В отличие от селективной очистки сернокислотная дает менее стабильные масла, так как благодаря химическому воздействию на углеводороды способствует ослаблению связи между углеродными атомами и нередко загрязняет продукт трудно удаляемыми веществами, содержащими кислород и серу.

Характер применяемых избирательных растворителей весьма разнообразен и количество их велико. Известно, что промышленное применение [4] нашли следующие растворители: сернистый ангидрид, ацетон, акролеин, анилин, бензальдегид, хлорекс, фенол, фурфурол, нитробензол, пропен, пропиленалкоголь и др.

Вопрос получения изоляционных масел большой стабильности и с малыми диэлектрическими потерями имеет особенно большое значение для высоко-

вольтных маслонаполненных кабелей и статических конденсаторов. Для этих целей у нас и за границей применяется доочистка масел отбеливающими глинами [5].

С точки зрения еще большего улучшения качества масел, исследование и внедрение селективной очистки масел и, в частности, нитробензольной как дающей наилучшие результаты [6], является весьма важной проблемой. Необходимо тут же отметить, что исследовательская работа в области селективной очистки не всегда использует правильные методы. Применяющаяся обычно в лабораторной практике многократная прямоточная экстракция имеет мало общего с промышленным оформлением этой операции в виде непрерывного противоточного процесса и не дает возможности получить практически пригодные параметры экстракционной очистки. Больше внимание следует уделять вопросу удаления из рафината остатков растворителя.

Исследовательские работы по селективной очистке должны обязательно содержать в себе составление кривых критических температур экстрагирования, а определение качества получаемого рафината должно дополняться установлением остающихся примесей растворителя, так как наличие в кабельном масле полярных примесей (например нитробензола), безусловно, является нежелательным. Для качественного и количественного определения нитробензола в маслах известен способ определения его в виде анилина [7].

Поведение масла в эксплуатации определяет не только его качеством, но и условиями работ в электроаппаратах и характером мероприятий направленных к повышению стабильности масел.

Хорошо известное замедляющее влияние, оказываемое на окисление масла специальными добавками (антиоксидантами), до сего времени еще не получило широкого практического применения, так как введение в масло даже небольших количеств веществ обычно вызывает серьезные изменения в диэлектрических свойствах масла (наибольшее влияние оказывают продукты неизбежного химического изменения антиоксидантов).

В противоположность сказанному гораздо более действительным средством уменьшения скорости окисления масла является применение азотной защиты трансформаторного масла, позволяющая удлинить срок службы масла в 2 раза [8] при применении вредных в отношении электрических свойств веществ. Имеются указания, что применение азотной защиты позволяет допускать 3-, 5-6-кратные кратковременные перегрузки трансформаторов [9] без какого-либо вреда для его изоляции.

Представляют интерес также автоматические фильтры, содержащие активированную окись алюминия. Конструкция таких фильтров очень проста и представляет собой 10-дюймовую трубу, залитую активированной окисью алюминия и присоединенную к верху и низу кожуха трансформатора, наподобие термосифонных охлаждающих труб. Благодаря конвекционным токам масла он непрерывно очищается, проходя через фильтр. Активированная окись алюминия обладает свойством селективной адсорбции кислых составных частей масла и, судя по литературным данным [1]

длинает срок службы масла на несколько лет. Инструкция и технология трансформаторов также претерпевает изменения в целях повышения срока службы масла. Так например, увеличиваются вентиляционные каналы между обмотками для снижения температуры и применяется антиконденсационное покрытие некоторых внутренних поверхностей кожуха трансформатора, препятствующее появлению влаги и ржавчины в масле [11].

Для предохранения масла, находящегося в бушингах, от действия солнечных лучей, которые, как известно, весьма сильно влияют на старение масла, стеклянные сосуды бушингов окрашиваются в белый цвет [10, 12].

В области масел для выключателей была проведена работа с целью изучения зависимости склонности масел к копотеобразованию от их химического состава [13]. Было установлено, что присутствие в масле ароматических углеводородов сильно увеличивает выделение сажи в процессе действия дуги на масло, и их удаление позволяет получить масла с пониженным на 45—50% копотеобразованием. Из высококачественных зарубежных масел для выключателей известно масло марки VAM-1000 с температурой застывания —65° и с малой склонностью к копотеобразованию [14].

Рассматривая по отдельности каждый из конкретных случаев применения изолирующих масел, нетрудно убедиться, что требования, предъявляемые к жидким диэлектрикам, меняются в зависимости от их назначения, что делает явно необоснованным понятие об универсальном жидком диэлектрике. Тем более такой универсальностью не могут обладать нефтяные масла. В самом деле, если крупнейшее значение для трансформаторов имеет какой недостаток масла, как его подверженности окислению, то для масляных выключателей этот эффект не столь существен по причине сравнительно низких рабочих температур.

Большое значение для масел выключателей имеет их склонность к выделению сажи при действии дуги. Такая характеристика, как диэлектрические потери масла, не имеет практического значения для упомянутых выше двух электроаппаратов, но эта характеристика и стабильность в электрическом поле являются решающими в случае применения масла в высоковольтных маслонаполненных кабелях и статических конденсаторах.

Для конденсаторов крупным недостатком масла является также его низкая диэлектрическая проницаемость (что в ряде случаев выгодно для кабелей), а для всех электроаппаратов вообще — горючесть масла и взрывоопасность продуктов его разложения. Так как физико-химические и электрические свойства масла есть функции его химического состава и степени загрязненности, то понятно, что нельзя ожидать совмещения весьма разнообразных свойств у смеси углеводородов, какой являются все нефтяные масла. Во всяком случае, повышение одной или нескольких характеристик масла обычно влечет за собой ухудшение других его свойств. Последнее обстоятельство, а также известная химическая нестойкость углеводородов являются причиной того, что даже при узкой специализации масел они не могут полностью удовлетворить предъявляемым к ним, в каждом конкретном случае, требованиям.

Выход из этого затруднительного положения возможен только путем применения синтетических изолирующих жидкостей, построение молекул которых химик ведет сообразно требующейся их прочности и других свойств. Необходимо, однако, отметить, что неоднократно делались и делаются попытки компромиссного решения вопроса о замене нефтяных масел. Такие попытки бывают обычно обречены на неудачу. К категории таких попыток можно отнести известный способ получения негорючих жидкостей путем хлорирования трансформаторных масел, приводящий к образованию весьма нестабильных продуктов. Сюда же следует отнести проекты замены трансформаторного масла в статических конденсаторах маслом касторовым (имеющим диэлектрическую проницаемость примерно в 2—2,5 раза большую, чем масло).

Наиболее остро сейчас стоит вопрос о маслах для высоковольтных маслонаполненных кабелей. Эти масла должны иметь малую зависимость диэлектрических потерь от температуры и высокую электрическую стабильность в условиях больших градиентов. Одной только упомянутой выше селективной или адсорбционной очистки этот вопрос вряд ли будет удовлетворительно решен. Необходимо планомерная исследовательская работа над изучением поведения в сильных электрических полях и в присутствии металлов не только масел различного происхождения и степени очистки, но и индивидуальных углеводородов и их смесей. Результаты такой работы позволили бы более сознательно подходить к выбору масел для кабелей. Относительно газовыделения масла в сильных электрических полях известно, что примесь ароматических углеводородов наиболее благоприятно влияет на уменьшение газовыделения [17], аналогичное действие оказывают и нафтеновые углеводороды.

В отношении зависимости химического состава масла и его склонности к осмообразованию известно очень немного. Есть указания, что более вязкие, тяжелые масла имеют меньшую склонность к выделению х-воска в условиях работы в кабеле [18]. Утверждается также, что небольшая примесь ароматических углеводородов не оказывает вредного влияния на стабильность пропитанной маслом бумаги, а иногда даже увеличивает ее [19]. С точки зрения уменьшения газовыделения и снижения  $\tan \delta$  масла было бы интересно испытать чистые нафтеновые масла с небольшими добавками ароматических углеводородов, не содержащих боковых или промежуточных цепей (например, дифенил).

В области промышленного освоения обогащенных масел необходимо прежде всего проверить в производстве и внедрить селективную очистку кабельных масел и специальную сернокислотную доочистку для масел выключателей с пониженным копотеобразованием. В области научно-исследовательской работы по улучшению качества жидкой изоляции необходимо больше уделять внимания вопросу получения новых синтетических жидкостей, что является более революционным методом усовершенствования жидкой изоляции.

Негорючие и не окисляющиеся синтетические жидкости, обладающие в ряде случаев более высокими диэлектрическими свойствами, чем масло, под-

нимают изоляционную технику на более высокую ступень. Из таких жидкостей известны за границей пиранол [20], пермитол [21], инертин и клофен [22]. У нас хорошо известны: совол [16] для конденсаторов, увеличивающий, при замене им масла, емкость статических конденсаторов на 40—55% и сообщающий им пожаро- и взрывобезопасность, совтол 1 [23] — пожаро- и взрывобезопасная, с высокой стабильностью жидкость для трансформаторов внутренних установок и совтол 2 [24] — такая же жидкость для трансформаторов наружных. Применение синтетических изолирующих жидкостей обычно дает также значительный экономический эффект [25].

Таким образом мы в настоящее время являемся свидетелями полной (конденсаторы) или частичной, все возрастающей (трансформаторы) замены нефтяных масел продуктами органического синтеза. На очереди должен стоять вопрос о синтезе жидкого диэлектрика для маслonaполненных высоковольтных кабелей. К такой жидкости должны предъявляться повышенные требования в отношении электрической прочности, стабильности в электрическом поле и зависимости  $\tan \delta = f(t^\circ)$ . Негорючесть жидкости также весьма желательна.

Изменения, происходящие в диэлектрике, в процессе его работы, тем меньше, чем меньше химическая реакционная способность его молекул, чем меньше их склонность к взаимодействию с другими веществами или к распаду. Чем более компактна и эндотермична молекула, тем более она стабильна, склонность же некоторых молекул к полимеризации может быть уменьшена за счет некоторых изменений ее состава (замещение). Из области органических молекул этим условиям более всего удовлетворяют молекулы ароматических углеводородов и их замещенных. Галоидозамещенные, в частности, к тому же обычно обладают негорючестью. Необходимо, однако, отметить, что замещение, обычно приводящее к образованию несимметричных полярных молекул, может дать продукт, чувствительный к загрязнениям, с повышенными электрическими потерями и проводимостью, особенно при повышенных температурах.

Резюмируя сказанное, приходим к выводу, что синтетический жидкий диэлектрик для высоковольтных кабелей, вероятно, должен состоять из галоидопроизводных ароматических углеводородов с неполярными или малополярными свойствами. Весьма актуален, но и значительно сложнее вопрос о создании невоспламеняющихся дугогасящих жидкостей для выключателей.

В настоящее время этот вопрос решен только в ограниченном масштабе применением дугогасящих (но не изолирующих) жидкостей на основе воды, которые пригодны для применения при температурах не ниже  $-25^\circ$  и напряжении по 60 kV [14, 22].

Применение в качестве изолирующих и дугогасящих негорючих жидкостей хлорированных углеводородов невозможно из-за образования хлористого водородного газа при действии на них дуги, однако, имело бы интерес изучить их смеси с некоторыми веществами, способными связывать хлористый водород (например, нитрилами).

Для малообъемных жидкостных выключателей выше 60 kV, в особенности наружных, наиболее удовлетворительным решением вопроса об изолирующей и дугогасящей жидкости, по всей вероятности, все же является применение специальных нефтяных масел.

### Литература

1. Belbin. El. Rev., стр. 17, 7 янв. 1938.
2. Ford. El. Eng., стр. 371, № 4, 1936.
3. El. Times, v. 96, стр. 573, № 2510, 1939.
4. Francis. Oil a. Gas, стр. 87, 25 марта 1937.
5. Скипетров В. В. Сборник „Электрическая изоляция“, вып. 1, стр. 97, 1937.
6. Сицкая Р. М., Александровская Л. М., Крицкий Ю. В., Скипетров В. В. „Электричество“, стр. 34, № 12, 1938.
7. Гордон и Дахнов. „Нефтяное хозяйство“, стр. 1 № 9, 1938.
8. Богуславский А. В. „Электричество“, стр. 1 № 12, 1938.
9. Putman. El. Eng., стр. 504, № 10, 1939.
10. Housley. El. Eng. v. 58, стр. 172, № 4, 1939.
11. Алексеенко и Кронгауз. „Вестник электротехники и промышленности“, № 10—11, 1939.
12. Картоотека Texco, сер. 9, № 1016, 1939.
13. Андрианов К. А. и Варленбург А. К. „Вестник электротехники и промышленности“ № 1 и 9, 1939.
14. Siemens-Zeitschrift № 2, 1932.
15. Тареев и Рабчинская. „Вестник электротехники и промышленности“ № 10—11, 1939.
16. Андрианов К. А. и Сидорова. „Совол“, ГСНТ 1938.
17. Nederbragt. JIEE, v. 79, № 477, 1936.
18. Lawton. Wl. Power, v. 26, стр. 98 и 129, 1936.
19. Clark. Ind. a. Eng. Chem. Ind. Ed., март 1939.
20. Clark. Trans. Electrochem. Soc., v. 65, апрель 1939.
21. Jackson. Proc. Royal Soc., v. 153, стр. 158, дек. 1935.
22. Kesselring. VDE., Vachber., Bd. 8, стр. 145, 1939.
23. Андрианов К. А. и Варленбург А. К. „Вестник электротехники и промышленности“ № 5, 1939.
24. Андрианов К. А. и Варленбург А. К. „Электричество“ № 12, 1939.
25. „Известия ВЭИ“ № 2, 1940.

# Новые электроизолирующие смолы, лаки, пасты и компаунды

К. А. АНДРИАНОВ

Всесоюзный электротехнический институт

ПРИ просмотре номенклатуры применяемых в настоящее время материалов в электрических машинах и аппаратах бросается в глаза поразительный контраст между числом собственно конструкционных материалов и значительным разнообразием электроизоляционных лаков, эмалей, паст и компаундов.

Это объясняется тем, что перечисленные электроизолирующие материалы, в отличие от металлов, не имеют общих для целого класса их основных достоинств, — каждый лак или компаунд удовлетворяет по своей природе лишь ограниченному числу условий. Поэтому, чтобы обеспечить надежную работу машин и аппаратов в различных условиях влажности, температуры и воздействия химических реагентов, требуется большое число различных лаков, эмалей и т. д.

Состояние производства смол, лаков, эмалей и компаундов в СССР и за границей. В производстве электроизоляционных лаков, эмалей и компаундов основную роль играют пленкообразующие вещества; всем успехам (по повышению качества лаков, эмалей и т. д. мы в первую очередь обязаны достижениям в области синтеза и технологии производства пленкообразующих веществ.

В Америке и Западной Европе до 1928 г. изготовлялись два типа масляных электроизоляционных лаков и эмалей: масляные лаки на основе ископаемых смол — копалов и битумов; лаки на основе канифоли и ее производных. Производство масляных лаков на основе искусственных смол, полученных конденсацией фенола формальдегида и канифоли и известных под названием «альбертолей» и «амберолей», только начиналось.

В СССР производства изолирующих лаков практически не было, и электропромышленность пользовалась импортными материалами.

Появление в американской промышленности глифталевых смол, модифицированных жирными кислотами, обусловило значительный сдвиг в производстве электроизоляционных лаков. На основе этих смол фирма GEC с 1928 г. начала выпускать электроизоляционные лаки и эмали, которые благодаря высоким электрическим свойствам и хорошей эластичности начали вытеснять электроизоляционные лаки на основе альбертолей и в некоторых случаях на основе копаловых смол. Однако малая скорость сушки лаков на модифицированных глифталевых смолах и, особенно, недостаточная водостойкость пленок после воздушной сушки заставили ограничиться применением их там, где доступна печная сушка. Это обстоятельство послужило толчком для работ по изысканию методов получения новых видов смол, дающих возможность изготавливать лаки и эмали быстрой печной и воздушной сушки.

Этот вопрос разрешался как в направлении получения специальных глифталевых смол на базе непредельных двух основных кислот (малеиновой,

фумаровой), так и получение маслорастворимых смол на основе конденсации алкилфенолов с формальдегидом.

В Америке уже в 1935 г. фталевомалеиновые смолы и изоляционные лаки на их основе производились в значительном количестве. Значительным достижением в области водостойких изолирующих лаков следует считать организацию в последнее время производства растворимых в масле смол, основе бутил- и амилфенолов и формальдегида.

Судя по литературным данным, эти лаки обладают достаточно большой скоростью высыхания и более высокой водостойкостью и щелочестойкостью в сравнении с другими смолами, применявшимися раньше.

Бутил- и амилфенольно-формальдегидные смолы используются также в композиции с глифталевыми смолами. При этом получают лаки, которые быстро сохнут, и даже после воздушной сушки дают пленки, значительно более водостойкие, чем чистые глифталы. Увеличение скорости сушки и водостойкости лаков на глифталевых смолах достигается также введением в них нитроцеллюлозы.

Химостойкие электроизоляционные лаки и эмали получают на глифталевых смолах, амилфенольно-формальдегидных и др. В последнее время начали применять хлорвиниловые смолы и хлорированный каучук. На основе этих продуктов выпущены лаки, которые известны как антикоррозионные. Из хлорвиниловой смолы, пластифицированной арохлором, выпускается изоляционный покровный лак, известный под названием «корролак». Этот лак (как показали опытные данные по проверке его химической стойкости на заводе «Шарикоподшипник» и в других лабораториях) обладает высокими качествами и с успехом применяется даже для защиты меди в электролитических ваннах и т. д. На основе хлорированного каучука выпускаются покровные лаки, главным образом стойкие против крепких кислот, щелочей и аммиака.

Значительные достижения имеются в области усовершенствования технологии облагораживания растительных масел для производства высококачественных электроизоляционных лаков и получения специальных искусственных олиф.

В настоящее время в Америке, как правило, для изготовления высококачественных электроизоляционных лаков льняное и другие масла применяются исключительно полимеризованные, и только для низкокачественных лаков применяются оксидированные масла.

Полимеризация масел проводится в инертных газах и очень часто с применением вакуума и высоких температур, — последнее дает возможность увеличить скорость реакции и избежать нежелательных процессов окисления масла при его полимеризации.

Для особо высококачественных электроизоля-

ционных лаков полимеризованные масла дополнительно подвергаются фракционированию, и выделенные высшие полимеры употребляются для изготовления высококачественных лаков, а низшие полимеры для второстепенной лаковой продукции.

Наряду с облагораживанием натуральных масел для производства изоляционных лаков также широко практикуется применение полусинтетических и синтетических олиф. Из полусинтетических олиф большое распространение получила олифа, выпускаемая фирмой «Феролеум». Судя по литературным данным, олифа этой фирмы представляет собой смесь высыхающих масел (соевого, льняного, тунгового, рапсового и сардинкового жиров), совместно полимеризованных в присутствии солей адипиновой кислоты.

Из синтетических олиф значительной известностью пользуется также искусственное высыхающее масло, выпускаемое фирмой «Бек и Колер», являющееся продуктом этерификации масел двусоевыми кислотами.

Сравнительно недавно разработаны новые типы компаундов, обладающих повышенной теплопроводностью. Это достигнуто введением кристаллических минеральных присадок к различным органическим связующим веществам.

Для обмазки лобовых частей станочных электрических двигателей разработаны специальные замазки, которые состоят из фенольноальдегидных смол и минеральных наполнителей. Применение таких замазок увеличивает срок службы двигателей.

Производство электроизоляционных лаков, эмалей и компаундов в Союзе, несмотря на высокие темпы развития в период первой и второй пятилеток, все же как по качеству, так и по номенклатуре не удовлетворяет требований быстро развивающейся социалистической электротехники.

Это отставание наблюдается как по линии освоения новых видов лаков на основе синтетических смол, так и в части подготовки растительных масел для производства электроизоляционных лаков.

Для получения высококачественных водостойких масляных лаков необходимо применять полимеризованные масла, а не окисленные. У нас преобладают методы «варки» масла.

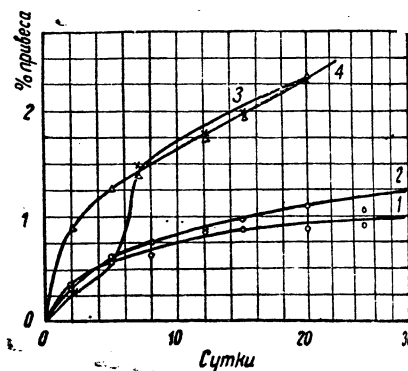
Процессы полимеризации масел необходимо проводить в условиях вакуума и в среде инертных газов, что исключит окисление его. Вакуум также значительно ускоряет процесс полимеризации, в результате чего становится возможным применение аппаратов непрерывного действия и высоких температур без опасности порчи продукта и самовозгорания масла, как это имеет место в процессе варки масла.

Перспективы повышения качества и расширения ассортимента лаков, эмалей и компаундов. Ограниченность ассортимента промышленных электроизоляционных лаков, эмалей и компаундов и не всегда высокое качество их очень часто затрудняют получение изоляции в конструкциях желательного свойства. Такие важнейшие задачи, как получение изоляции машин и аппаратов с повышенной водостойкостью и стойкостью к воздействию химических реагентов практически не нашли пока удовлетворительного разрешения.

Между тем решение их может быть значительно продвинуто вперед, если со стороны электропро-

Рис. 1

1 — гигроскопичность лака из оксифенилформальдегидной печной сушки; 2 — водопоглощаемость того же лака; 3 и 4 — водопоглощаемость асфальтового и альбертолевого лаков печной сушки



мышленности будет проявлена достаточная водостойкость в освоении новых смол и лаков, разработанных в институтах и заводских лабораториях.

Значительное улучшение водостойкости изоляции машин и аппаратов может быть достигнуто повышением температуры запекания глифталевых лаков<sup>1</sup> и, особенно, применением разработанных в ВЭИ масляных лаков на основе оксифенилформальдегидной смолы<sup>2</sup>. Пленки этих лаков как печной, так и воздушной сушки обладают высокой водостойкостью (табл. 1 и рис. 1).

Из таблицы и рисунка видно, что после 21 суток действия воды пленки из альбертолевого лака сохранили 25% первоначальной прочности, а из асфальтового — около 30%. Пленки же из оксифенилформальдегидной смолы после 30-суточного действия воды потеряли лишь 50% прочности, при этом абсолютное значение ее весьма значительно (70 kV/mm) и намного выше прочности пленок альбертолевого и асфальтового лаков. Оксифенилформальдегидные смолы, благодаря растворимости в масле и способности полимеризоваться, могут служить базой для получения замазок для обмазки лобовых частей двигателей (это было широко проверено на станочных двигателях) и для получения специальных пропиточных лаков без растворителей.

При создании изоляции машины, даже работающей с водостойкими лаками, но затвердевающими только в результате испарения растворителей, нельзя полностью решить этой задачи<sup>3</sup>. Более полное решение возможно при применении специальных жидких лаков, которые при действии тепла будут переходить в твердое состояние без выделения летучих веществ (растворителей). К таким веществам можно было бы отнести, например, специальные жидкие искусственные смолы, способные переходить в неплавкое состояние, которыми еще в жидком состоянии производят пропитку, а затем их запекают в изделия, также смолы в композиции со специальными маслами, способными переходить в твердое состояние без выделения составных частей молекул (воды и т. д.). Уже сейчас можно было бы рекомендовать, чтобы заводские лаборатории занялись применением для этих целей

<sup>1</sup> Электрическая изоляция, вып. 3, 1940.

<sup>2</sup> Андрианов и Грибанова, Изоляционные материалы. Труды ВЭИ, вып. 34, 1940. Грибанова и Баян, Отчет ВЭИ. Монолитная изоляция.

<sup>3</sup> О. Б. Брон, Влагостойкая водонепроницаемая изоляция электрических машин и аппаратов. Труды III Всесоюзной конференции по электроизолирующим материалам. Том II 16—24, 1934.

Т а б л и ц а 1

Название лака и условия сушки пленки	Действие воды после пребывания в ней (сутки)				
	0	5	15	21	30
Удельное объемное сопротивление в $\Omega$ см					
Асфальтовый, печной сушки . . . . .	9,9·10 <sup>13</sup>	1,70·10 <sup>14</sup>	1,85·10 <sup>14</sup>	7,0·10 <sup>13</sup>	—
Альбертолевый, печной сушки . . . . .	5,23·10 <sup>14</sup>	1,31·10 <sup>14</sup>	2,43·10 <sup>14</sup>	1,36·10 <sup>14</sup>	—
Из оксидифенилформальдегидной смолы, печной сушки . . . . .	1·10 <sup>15</sup>	6,8·10 <sup>14</sup>	8,4·10 <sup>14</sup>	5,8 <sup>15</sup>	50·10 <sup>15</sup>
То же, воздушной сушки . . . . .	6·10 <sup>14</sup>	1,53·10 <sup>14</sup>	—	1,12·10 <sup>14</sup>	—
Электрическая крепость (kV/mm)					
Асфальтовый, печной сушки . . . . .	30,8	24,0	10,9	10,6	—
Альбертолевый, печной сушки . . . . .	83,0	43,4	31,7	20,0	—
Из оксидифенилформальдегидной смолы, печной сушки . . . . .	138	63	70	78	70
То же, воздушной сушки . . . . .	106	40,0	через 40 суток 17,5 kV/mm		
Тангенс угла электрических потерь (tg $\delta$ )					
Асфальтовый, печной сушки . . . . .	0,0113	0,0140	0,0239	0,0230	—
Альбертолевый, печной сушки . . . . .	0,0212	0,0290	0,023	0,020	—
Из оксидифенилформальдегидной смолы, печной сушки . . . . .	0,016	0,0208	0,0227	0,0265	—
То же, воздушной сушки . . . . .	0,042	0,0772	—	—	—

оксидифенилформальдегидных и гексилфенольно-формальдегидных смол в композиции с маслом.

В части теплостойких лаков промышленность также не располагает достаточным ассортиментом. К наиболее теплостойким промышленным лакам нужно отнести пропиточные глифталевые лаки 1154 и клеющий глифталевый лак для проводов с дельтаасбестовой изоляцией и глифталевые лаки для эмалировки проволоки.

Однако нельзя считать, что и эти лаки во всех случаях практики удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям по теплостойкости. Недостатки теплостойких лаков особенно сильно выявляются в связи с применением в электромашино- и аппаратостроении изоляции на основе стеклянного волокна. Температурный режим машин и аппаратов со стеклянной изоляцией будет лимитироваться теплостойкостью пропиточных и покровных лаков.

Задача освоения промышленностью новых лаков с повышенной теплостойкостью актуальна и разрешима. Уже сейчас в лабораториях имеются разработанные рецептуры специальных лаков, которые по теплостойкости значительно превосходят имеющиеся на сегодняшний день в промышленности. Сравнение теплостойкости пленок важнейших промышленных лаков с полученными в лабораториях образцами лаков на основе специальных алкидных и других смол наглядно показывают это. В табл. 2 приведены данные испытаний по термическому старению лаковых пленок толщиной 0,05 мм на тонких медных пластинках при 150°.

Пленки теплостойких лаков, испытанные на медных пластинках после прогрева их при 150° в течение 1000 h и выдержки в воде в течение 24 h, показали высокие электрические свойства (табл. 3).

Теплостойкие лаки можно рекомендовать для освоения в качестве пропиточных для производства лакоткани и в некоторых случаях в качестве покровных лаков печной сушки, где вопросы теплостойкости играют решающую роль. Один из

указанных лаков — глифталевый на смеси предельных и непредельных жирных кислот — исследовался в качестве пропиточного для получения лакоткани на основе стеклянного волокна, и он показал вполне удовлетворительные результаты. Качество полученной в лаборатории лакоткани по электрическому и тепловым характеристикам было не ниже, чем у импортных образцов лакоткани, исследованной в ВЭИ<sup>4</sup>.

Коснемся вопроса химостойких лаков, эмалей, паст и компаундов.

Необходимо установить среды, в которых могут

Т а б л и ц а 2

Лак	Заводская марка лака	Время старения пленки на медных пластинках при 150° С, в часах
Масляно-асфальтовый . . . . .	447	48
Глифталевый . . . . .	458	72
Глифталевый на чистых парафиновых кислотах . . . . .	1154	96
Глифталевый на непредельных и предельных жирных кислотах . . . . .	ВЭИ	500
Глифталевый на чистых кислотах льняного масла . . . . .	"	388
Алкидный на фталевой и адипиновой кислотах . . . . .	"	90
Глифталевый 70% парафиновых кислот и 30% льняных . . . . .	"	240
	"	192

Явление старения характеризовалось появлением трещин на пленке при изгибе вокруг стержня диаметром 3 мм.

<sup>4</sup> Отчет ВЭИ. Изоляция на основе стеклянного волокна. Отчет ВЭИ. Разработка рецептуры лака для электрических машин, работающих при 150–160°.



Т а б л и ц а 3

Лак	Время прогрева при 150° С			
	0	384	600	984
Удельное объемное сопротивление ( $\Omega$ см)				
Глифталевый на чистых парафиновых кислотах	$5,4 \cdot 10^{14}$	$5,5 \cdot 10^{14}$	$2,5 \cdot 10^{14}$	$3,72 \cdot 10^{14}$
Глифталевый на смеси предельных и непредельных жирных кислот . . . . .	$1,7 \cdot 10^{14}$	$9,2 \cdot 10^{14}$	$1,07 \cdot 10^{15}$	$5,7 \cdot 10^{14}$
Электрическая крепость (kV/mm)				
Глифталевый на чистых парафиновых кислотах	35	68,0	55,9	63,7
Глифталевый на смеси предельных и непредельных жирных кислот . . . . .	38	69	79	64
Диэлектрические потери ( $\text{tg } \delta$ )				
Глифталевый на чистых парафиновых кислотах	0,07	0,12	0,28	0,38
Глифталевый на смеси предельных и непредельных жирных кислот	0,06	0,105	0,25	0,35

работать имеющиеся в промышленности лаки, и широко внедрять в практику новые лаки повышенной химстойкости. На основании работ ряда исследовательских и заводских лабораторий сейчас уже можно указать такие среды для ряда лаков.

Глифталевый лак 1154 может быть использован для изоляции машин, двигателей и аппаратов, работающих в условиях действия: хлора, сероводорода, двуокиси азота, сернистого ангидрида, серной, соляной и азотной кислот (до 15% концентрации), бензина и керосина.

Лак 460 — в условиях действия щелочи, аммиака, сероводорода. Этот лак не маслостоек и в случае применения щелочных эмульсий, содержащих масло и керосин, его применять нельзя.

Хлорвиниловый лак<sup>5</sup> пригоден в качестве по-

<sup>5</sup> Андрианов и Лимова. О химстойких лаках. Электрическая изоляция. Сборник II, изд. ОНТИ, 1938.

Андрианов и Красильникова. Технический отчет о химстойких лаках, 1939.

кровного воздушной сушки для работы в условиях действия — хлора, аммиака, щелочей, кислот (серной, соляной и азотной), бензина, керосина, сернистого ангидрида и щелочной эмульсии.

Как маслостойкую и стойкую к воздействию воздуха, содержащего в своем составе  $\text{SO}_2$ , хлористый водород и окислы азота, следует считать серную глифталевую эмаль ХЭМЗ<sup>6</sup>.

Затруднения в получении бензиностойкой лакокраски, как показали работы ВЭИ и завода МЭИЗ также могут быть устранены при использовании для этих целей специального теплостойкого глифталевого лака<sup>7</sup>.

В лабораториях ХЭМЗ и «Электростроительного завода» получены ценные для практики лаки с повышенной скоростью сушки, нитроглифталевые и другие.

В самое последнее время в ВЭИ разработан лак и эмаль на его основе из глифталевой и оксиди фенилформальдегидной смолы, которые обладают после воздушной сушки более высокой водостойкостью по сравнению с глифталевыми лаками и выдерживают действие кислот, бензина, керосина и других химических реагентов.

Этот далеко не полный перечень разработанных в лабораториях Союза рецептур изоляционных лаков дает возможность, при умелом освоении их в промышленности, значительно расширить ассортимент выпускаемых лаков и пополнить его новыми типами лаков, обладающими рядом ценных свойств.

Для защиты лобовых частей двигателей от разрушающего действия щелочных эмульсий, бензина, керосина и металлической пыли применяют пасту «Элси», которая, к сожалению, не удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям. Для этой цели следует широко внедрять пасты, разработанные на основе 100% маслорастворимых смол<sup>8</sup>. Эти пасты, опробованные на двигателях завода ЗИС и «Шарикоподшипник», показали свои высокие качества и исключительную стойкость к действию указанных выше веществ.

<sup>6</sup> В. Калитвянский. Пигментированные электроизоляционные эмали. Электрическая изоляция. Сборник 7, стр. 31 изд. ОНТИ, 1937. Б. М. Тареев. Отчет МЭИ о химстойкости лаков в условиях ТЭЦ.

<sup>7</sup> Шишкин. Отчет ВЭИ о бензиностойкой лакокраске на основе теплостойких лаков.

<sup>8</sup> Грибанова и Баев. Отчет ВЭИ. Монолитная изоляция, 1939.

## Влияние механической нагрузки на пробивное напряжение твердых диэлектриков

А. А. ВОРОБЬЕВ

Томский индустриальный институт им. Кирова

**ТВЕРДЫЕ** диэлектрики в условиях их службы наряду с электрической нагрузкой несут также механическую нагрузку. Для практики использования твердых диэлектриков и теории твердого тела представляет большой интерес выяснение вопроса о поведении вещества при одновременном воздействии на него обеих нагрузок.

Важно разрешить вопрос о том, не будет ли

одновременное действие на диэлектрик обеих нагрузок — электрической и механической — уменьшать его электрическую прочность? Не является ли механическая нагрузка на диэлектрик таким дополнением к электрической нагрузке, которая приводит его к разрушению при меньшем электрическом поле? Уместно также поставить и обратный вопрос: приведет ли приложение электрического

нагрузки к изменению механической прочности диэлектрика?

Рассматривая электрический пробой, как процесс в диэлектрике, связанный с освобождением электронов под действием сильного электрического поля и последующим движением электронов в кристаллической решетке, приводящим к пробое, мы должны ожидать сложного характера влияния деформации на величину пробивной прочности. Практически представлялось весьма важным исследование влияния деформации на электрическую прочность твердых диэлектриков с целью подбора такой механической и термической обработки, изменяющей их структуру, которая давала бы и наивысшую электрическую прочность.

**Пробой диэлектриков в неоднородном электрическом поле под давлением.** Для изучения влияния деформации на электрический пробой твердых диэлектриков были проведены опыты по неполному пробое образцов, содержащих внутренние механические напряжения [1]. В качестве исследуемого диэлектрика была избрана каменная соль. В кристаллах каменной соли в неоднородном (неравномерном) электрическом поле при действии импульсов легко наблюдать развитие пробоа, который начинается от острия и с каждым импульсом прорастает в глубь диэлектрика.

Если прозрачный диэлектрик с механическими напряжениями поместить между николем-поляризатором и николем-анализатором поляризационного прибора, то при скрещенных николях на экране механически напряженные места будут просветлены и легко наблюдаемы. Изучение разрядов в кристаллах каменной соли при наличии механических напряжений показало, что механически напряженные места в кристалле не способствуют распространению по ним разрядов, вплоть до давлений, близких к разрушающим. Разряды идут по границе между напряженными и ненапряженными местами, по направлению наибольшего градиента механических напряжений.

Т. Акахира и А. Гемант [2] исследовали влияние механической нагрузки на величину пробивного напряжения стекла, слюды, резины, целлулоида и целлофана и установили, что при пробое пластинок из указанных веществ в поле (шар против плоскости) с увеличением давления на шар пробивное напряжение увеличивается, достигает максимального значения, а затем начинает падать.

Ф. А. Вальтер и Л. Д. Инге [3] исследовали пробой стекла, слюды и кабельной бумаги в трансформаторном масле и кислоте вплоть до давлений в 18 ат. Они показали, что при плохом контакте, когда между поверхностью диэлектрика и электродами имеется слой жидкости, пробивное напряжение стекла растет с увеличением давления, но это вторичный эффект, вызываемый краевыми разрядами. Что касается стекла и слюды, то авторы считают, что оно не может зависеть от внешнего давления.

Ф. Кох [4], подвергая диэлектрики всестороннему сжатию до давлений  $50 \text{ kg/cm}^2$ , не обнаружил никакого влияния давления на электрическую прочность.

При пробое стекла в электрическом поле (острие против плоскости) имеется сильное уменьшение пробивного напряжения при увеличении давления

на острие [5]. При положительном острие получается более быстрое уменьшение пробивного напряжения, чем при отрицательном; таким образом при увеличении давления на острие появляется, а затем растет эффект полярности.

Ряд авторов [6] исследовали влияние одновременной механической нагрузки при пробое на величину пробивного напряжения фарфоровых изоляторов. Опыты проводились как на импульсном напряжении, так и переменном. Укажем здесь на результаты опытов В. Вейкера [6], который установил, что:

1. Механическая прочность изолятора (прочность на разрыв) не понижается при одновременном наложении на изолятор переменного или импульсного напряжений. Она остается такой же, как и в отсутствии электрического поля. Прочность изолятора на разрыв не понижается даже благодаря предшествующему пробое изолятора, разумеется, если пробой не повлек за собой сильного разрушения фарфора, благодаря образовавшимся дугам большой мощности.

2. Если изолятор, находящийся под напряжением, нагружать механически, то он пробивается при напряжении более низком, чем без механической нагрузки или после механической нагрузки. Понижение пробивного напряжения зависит от величины одновременной механической нагрузки. С увеличением механической нагрузки пробивное напряжение сильно падает.

3. Это понижение пробивного напряжения и нижняя граница механической нагрузки, после которой оно получается, зависят от механической прочности изолятора и его конструкции.

4. При ударных напряжениях, после достижения определенного предела механической нагрузки, получается понижение пробивного напряжения, не зависящее в дальнейшем от повышения напряжения. Наименьшая механическая нагрузка, при которой начинается зависимость пробивного напряжения на импульсах от нагрузки, лежит значительно выше тех нагрузок, которым изолятор подвергается в условиях его службы.

5. При ударных напряжениях не обнаружено влияния длительной электромеханической нагрузки на величину понижения пробивного напряжения. В противоположность этому, испытания на переменном напряжении установили наличие такого влияния.

Е. К. Завадовская [7], изучавшая зависимость пробивного напряжения фарфора от различных факторов, указывает, что при пробое фарфоровых пластин в неоднородном поле на постоянном напряжении не наблюдается уменьшение пробивного напряжения при увеличении давления.

Пробивное напряжение начинает медленно уменьшаться с увеличением давления при достижении нагрузки, равной приблизительно  $60\%$  от разрушающей. При нагрузке, близкой к разрушающей, наблюдаемое понижение пробивного напряжения составляет около  $20\%$ .

**Пробой твердых диэлектриков в однородном электрическом поле под давлением.** Изложенные в предыдущем параграфе практические интересные результаты, однако, противоречивы и физически трудно объяснимы. Это является следствием сложности условий опыта в неоднородном

электрическом поле. Для решения основного вопроса о влиянии деформации сжатия на пробивное напряжение твердых диэлектриков рядом авторов были проведены опыты в однородном электрическом поле.

П. П. Кобеко и И. В. Курчатова [8] изучали влияние пластической деформации на величину электрической прочности каменной соли на постоянном и импульсном напряжениях. С этой целью они сравнивали между собой значения электрической прочности предварительно хорошо отожженных образцов и образцов, пластически деформированных при высокой температуре, а также неопределенно деформированных, взятых сразу после изготовления. Пластическая деформация кристалла производилась при температуре  $700\text{--}750^\circ\text{C}$  под давлением  $5\text{--}7\text{ kg/cm}^2$  в течение одного часа. Этими опытами не было обнаружено разницы между величинами пробивных напряжений так различно изготовленных образцов.

В других опытах [9] было проведено сравнение величин пробивных напряжений в условиях однородного поля на импульсах для различно деформированных кристаллов, причем степень пластической деформации оценивалась рентгеновским методом, по лауэграммам. Эти опыты показали, что величина пробивной прочности практически не зависит от степени нарушения кристаллической решетки при пластической деформации. С другой стороны, этими же опытами было показано, что при увеличении давления до некоторого предела имевшиеся в диэлектрике нарушения закрываются; диэлектрик улучшается и повышает свою электрическую прочность. Например, в случае эбонита наблюдается повышение пробивного напряжения при увеличении давления на электроды почти в 4 раза.

По данным Е. К. Завадовской [7] уменьшение пробивного напряжения в однородном поле для фарфора начинается при нагрузках  $60^\circ/\mu$  от разрушающих. Величина понижения пробивного напряжения при давлении, близком к разрушающему, по этим же данным составляет около  $30^\circ/\mu$ . При пробое импульсами понижения пробивного напряжения для фарфора в однородном поле не наблюдалось.

**Пробой твердых диэлектриков при одновремен-**

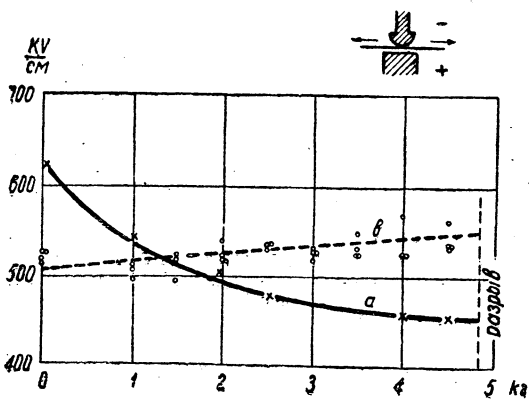


Рис. 1

Растяжение резины. а — зависимость площади поперечного сечения от силы, б — зависимость пробивного напряжения на импульсы х от величины деформирующей силы

ном растяжении. В настоящее время основным экспериментальный материал, известный о геометрических элементах деформации — плоскостях скольжения и направлениях скольжения, может быть объяснен с помощью представлений о трансляции с поворотом или с помощью «двойникования». Считают, что при деформировании кристалла трансляция совершается вдоль определенных кристаллографических направлений, по плоскостям скольжения: она сопровождается поворотом скользящих участков вокруг осей, перпендикулярных направлениям скольжения. В результате этого процесса объем кристалла разбивается на повернутые друг относительно друга на некоторый угол упруго напряженные «пачки» плоскостей.

А. Гемант [10] подробно изучил влияние одной временной механической нагрузки на электрические свойства резины. Для опытов им употреблялись ленты резины толщиной от 0,2 до 0,6 мм. В его опытах относительные удлинения при растяжении достигали  $300^\circ/\mu$ ; изменение толщины составляло при этом  $30\text{--}50\%$ . При пробое резины на переменном токе в воздухе и одновременном растяжении было обнаружено увеличение пробивной прочности на  $35^\circ/\mu$ . Эффект увеличения пробивного напряжения исчезал, если испытание производилось под маслом после того, как резина предварительно вылеживалась в масле в течение 24 час. А. Гемант указывает на поверхностное происхождение наблюдаемого им эффекта упрочнения.

Общее заключение, сделанное А. Гемантом на основании подробных исследований, говорит о том, что технически существенные свойства резины — пробивная прочность и диэлектрические потери при растяжении испытывают улучшение  $\sim 40^\circ/\mu$ .

При длительных нагрузках этот эффект перекрывается вредным действием озона.

Т. Акахира и А. Гемант [2], исследовавшие влияние различных деформаций на пробивное напряжение твердых диэлектриков, на основании своих опытов со стеклом, целлофаном, резиной, слюдой и целлулоидом, пришли к следующим выводам:

1. Всестороннее плоскостное растяжение для материалов с малым значением коэффициента Пуассона  $\sigma$  [например стекла сопровождается уменьшением, а всестороннее сжатие — увеличением пробивного напряжения. Каучук ( $\sigma \approx 0,5$ )] пр

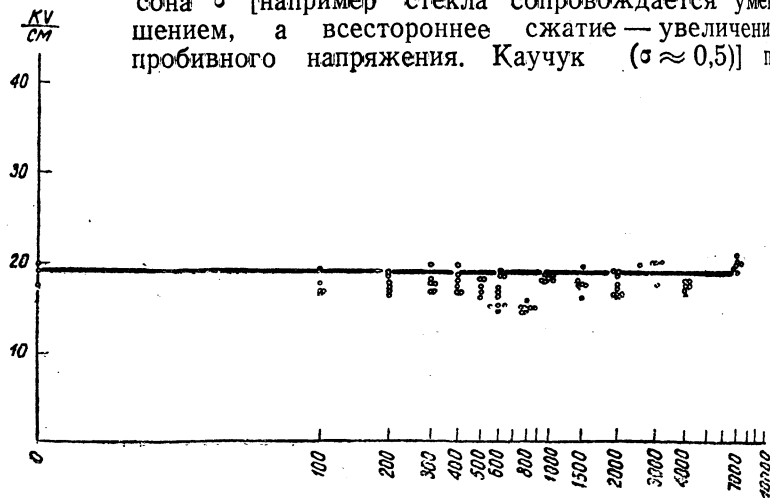


Рис. 2

Пробой целлулоида на постоянном напряжении при одновременном растяжении

всестороннем сжатии также обнаруживает увеличение пробивной прочности.

2. Одностороннее растяжение вызывает уменьшение пробивного напряжения.

3. Деформация изгиба не влияет на величину пробивного напряжения.

На основании своих экспериментов эти авторы приходят к общему заключению, что сжатие увеличивает, а растяжение понижает величину пробивного напряжения твердых диэлектриков.

Опыты в Сибирском физико-техническом институте. В высоковольтной лаборатории СФТИ были произведены опыты по исследованию влияния деформации одностороннего растяжения на величину электрической прочности ряда твердых диэлектриков [11]. Исследовались два сорта резины, слюда и два сорта целлулоида. Пробой производился при одновременном растяжении в условиях однородного и неоднородного электрического поля. Конструкция приборов, с помощью которых задавалась деформация, в одном случае обеспечивала постоянство величины действующей силы, под действием которой в продолжение опыта происходила пластическая деформация образца. Приборы другого типа обеспечивали постоянную величину пластической деформации при заданной величине силы, причем вследствие удлинения образца нагрузка на образец в процессе течения образца уменьшалась.

На рис. 1 — кривая *b* — представлена зависимость пробивного градиента резины от величины растягивающей силы. Измерения произведены на импульсном напряжении. Пробой происходил между электродами (полусфера против плоскости) в трансформаторном масле. На этом же рисунке кривая *a* изображает изменение площади поперечного сечения образца при изменении растягивающей силы. Зависимость, представленная кривой *a*, указывает на сильное изменение толщины образца.

Наблюдаемое в данных опытах увеличение электрической прочности при одностороннем растяжении является следствием уменьшения толщины резины при растяжении, т. е. хорошо известным эффектом при измерениях в неоднородных полях.

Опыты с измерением пробивного напряжения слюды при одновременном одностороннем растяжении показали увеличение пробивного напряжения слюды при увеличении нагрузки. При напряжении  $1200 \text{ kg/cm}^2$  (разрушающее равно  $4000 \text{ kg/cm}^2$ ) пробивной градиент составлял  $\sim 180\%$  начального.

На рис. 2 представлены результаты измерений пробивного напряжения целлулоида на постоянном напряжении при одновременном одностороннем растяжении. Как видно из приводимых на рис. 2 данных, пробивная прочность целлулоида при растяжении до самого разрыва остается неизменной.

**Выводы.** Результаты исследования с однородными кристаллическими и некристаллическими ди-

электриками (стекло, целлулоид) в чистых условиях опыта при исключении вторичных явлений показывают отсутствие заметного влияния механической нагрузки и предварительной деформации образца на пробивное напряжение диэлектриков.

Таким образом на вопрос о том, не явится ли механическая нагрузка на диэлектрик таким дополнением к электрической нагрузке, которая приведет его к разрушению при меньшем электрическом поле, на основании известного экспериментального материала, мы можем дать отрицательный ответ.

Воздействие электрического поля на диэлектрик также не приводит к уменьшению его механической прочности. Однако при приложении силы возможно возникновение ряда вторичных явлений, которые могут изменять величину измеряемого нами пробивного напряжения диэлектрика. При этом возможно как уменьшение величины электрической прочности, так и ее увеличение.

Интересно отметить, что нарушение структуры диэлектрика с помощью введения в него малых примесей или изменения температуры также заметно не влияет на величину пробивного напряжения при электрическом пробое твердых диэлектриков.

Более подробные исследования показывают, что электрическая прочность твердых диэлектриков определяется двумя величинами: во-первых, величиной энергии наиболее слабо связанных электронов, и, во-вторых, величиной энергии решетки. Пробивная прочность при электрическом пробое растет при увеличении энергии решетки и энергии закрепления электронов. Такие факторы, как пластическая деформация, малые примеси и температура, мало влияют на величину энергии связи электронов и энергию решетки, поэтому и не могут оказать заметного влияния на пробивное напряжение диэлектрика.

## Литература

1. А. А. Воробьев. ДАН (в печати). Труды СФТИ (в печати).
2. Т. Akachira и A. Gemant. Arch. f. El., 27, 577, 1933.
3. А. Ф. Вальтер и Л. Инге. 3, 851, 1933.
4. F. Koch. ETZ, 36, 85, 1915.
5. А. А. Воробьев. Диссертация. СФТИ. Томск 1939.
6. W. Weicker. ETZ, p. 432 и 1422, 1924; 47, 174, 1926. Hescho Mitt., 18, 19, 1925; 24, 707, 1926. W. Altman, ETZ, 764, 1924.
7. А. М. Залесский, А. В. Сорокин и Н. С. Стефанов. Руковод. к работам в лабор. высокого напряжения. Москва — Ленинград 1934.
8. Е. К. Завадовская. Труды СФТИ (в печати). Спарение фарф. изоляторов. Отчет о работе СФТИ.
9. П. П. Кобеко и И. В. Курчатов. Ж. РФХО, 61, 379, 1929.
10. А. А. Воробьев. Диссертация, Томск, СФТИ, 1939.
11. A. Gemant. Zs. f. Phys. 73, 523, 1932.
12. А. А. Воробьев. Диссертация. Лос. Сит.

# Пути усовершенствования волокнисто-бакелитовой слоистой изоляции

**И. А. ЯРОСЛАВСКИЙ**

Лаборатория завода „Изолит“

В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ конструкциях находит широкое применение волокнисто-бакелитовая слоистая электроизоляция в виде листов гетинакса и текстолита, бумажно-бакелитовых труб, конденсаторных выводов, цилиндрических конденсаторов и фасонных деталей различной, подчас довольно сложной конфигурации. Распространение этого рода изоляции во всех областях электротехники обеспечивается не только хорошими электроизоляционными качествами ее, но и физико-механическими свойствами, позволяющими применять изоляционные материалы и детали этого типа как конструктивные, несущие определённые и довольно большие механические нагрузки.

По методу изготовления этот вид изоляции должен быть разделен на две принципиально-отличающиеся группы: прессованные материалы — гетинакс, текстолит и фасонные детали, и намотанные бумажно-бакелитовые изделия в основном цилиндрической формы — цилиндры и трубки, конденсаторные выводы и т. п.

Требования, предъявляемые к гетинаксу различными стандартами, различны (см. таблицу).

Проделанные работы и сравнение отечественного стандарта с британским обнаруживают, что в нашем стандарте приняты неудачные характеристики для марок гетинакса: низкая водопоглощаемость гетинакса совместима больше с высокой

электрической прочностью, чем с высокими механическими свойствами, поэтому гетинакс Б будет лучше вести себя в трансформаторном масле, чем в воздухе, а гетинакс А может быть использован как для работы в масле, так и для работы в воздухе без значительного изменения электрической прочности.

При более обширной вообще номенклатуре характеристик по сравнению с VDE в отечественном стандарте не предусмотрено объемное электрическое сопротивление для всех классов, диэлектрические потери для классов I и II, электрическая прочность параллельно слоям для классов II и III и диэлектрическая проницаемость для всех классов.

В британском стандарте имеются характеристики, не предусмотренные VDE и союзным стандартом, имеющие, несомненно, практическое значение: поверхностное перекрытие на воздухе после увлажнения, временное сопротивление сжатию, сопротивление срезу и испытание на скручивание (для штампуемых материалов).

Гетинакс А завода «Изолит» по своим характеристикам удовлетворяет требованиям отечественного стандарта, за исключением сопротивления ударному изгибу и близок как по этому показателю, так и по остальным свойствам к гетинаксу названным иностранных фирм.

Сравнение результатов испытаний гетинакса с требованиями стандартов

Марка гетинакса		Плотность g/cm³	Водопоглощаемость при толщ. 10 mm %	Временное сопротивление изгибу перпендикулярно слоям kg/cm²	Сопротивл. ударному изгибу kgcm/cm²	Временное сопротивление раскалыванию kg	Электрическое сопротивление поверхности Ω	Диэлектрические потери tg δ при температуре 20 °C	Электрическая прочность		Диэлектрическая проницаемость ε
									перпендикулярно слоям		
									20° C	90° C	
Стандарт	А . . . . .	1,3—1,4	2,5	1000	20	150	10 <sup>11</sup>	0,10 при 50 Hz	21	11,5	7
	Б . . . . .	1,3—1,4	2	1500	20	200	10 <sup>9</sup>	0,30 при 50 Hz	15	—*	—*
	В . . . . .	1,3—1,4	2,5	1000	20	150	10 <sup>10</sup>	0,04 при 10 <sup>6</sup> Hz	21	—*	7
BSS № 157, g I и II . . . .		1,38	—	1400	*	Невыясн.	10 <sup>9</sup>	—*	—*	10,6	—*
VDE** 0324	кв. I . . . .	1,42	2	1300	20	125	10 <sup>10</sup>	—*	21	11,5	—*
	„ II . . . .	1,42	2	1300	20	125	10 <sup>10</sup>	—*	—*	—*	—*
	„ III . . . .	1,42	*	1300	13	125	—*	0,1 при 800 Hz	—*	—*	—*
Завод „Изолит“ А . . . . .		1,3—1,33	0,2—0,5	1000—1800	11—15	200—300	10 <sup>12</sup> —10 <sup>13</sup>	0,04—0,07	25—33	16—29	5,5—6
„ Б . . . . .		1,32—1,35	0,8—1,5	1500—1900	28—41	210—250	10 <sup>10</sup> —10 <sup>12</sup>	0,14—0,30	15—22	—	8—9
Micanite S. Insulator	Paxolin T . . . .	1,296	0,1—0,3	—	12,7	260	—	0,023	24,7	17,7	4,8
	Paxolin Q . . . .	1,314	0,7—2,7	—	24,1	224	10 <sup>11</sup> —10 <sup>13</sup>	0,021	31,4	23,5	5,2
Bakelite Ltd	g I . . . . .	1,374	—	—	9,1	170	—	0,023	32,5	27,1	6,0
	g II . . . . .	1,345	—	—	37,1	265	—	0,038	24,7	17,9	5,5

\* Эта характеристика соответствующим стандартом не предусмотрена.

\*\* В опубликованном в 1936 г. D. J. № 7701 Entwurf механические свойства класса II заметно повышены: временное сопротивление изгибу 1500—1300 kg/cm<sup>2</sup>, ударному изгибу — 25 kg/cm<sup>2</sup>, временное сопротивление раскалыванию — 200 (Plastische Massik 1936, H. 1, S. 23).

Гетинакс Б, изготовленный из бумаги, пропитанной герколитовым методом, удовлетворяет требованиям стандарта, но заметно отличается по электрическим характеристикам от заграничных образцов. Причиной этому — некоторые недостатки в применяемом сырье и технологии, из которых наиболее существенны следующие:

Применяемая заводом «Изолит» сульфатная пропиточная бумага по <sup>ОСТ 8144</sup> НКЛес 123 обладает неравномерным просветом, являющимся причиной неравномерной впитываемости бумаги, а следовательно, и колебаний свойств гетинакса по листу. Впитываемость, толщина и плотность этой бумаги колеблются в значительных пределах, что при стандартном технологическом процессе также создает неравномерную пропитку. Значительная сорность бумаги, несомненно, отрицательно влияет на электрические свойства гетинакса.

Смолы, применяемые заводом для пропитки бумаги герколитовым методом, в основном, крезоль-доформальдегидные — смолы низкоплавкие, с повышенным содержанием летучих<sup>1</sup>. Такими смолами лучше пропитывается бумага при сухом методе пропитки, но в значительной мере снижаются электрические свойства гетинакса (рис. 1).

Огромное влияние на технологию изготовления гетинакса и его свойства оказал внедренный в 1933 г. только что упомянутый сухой или герколитовый метод пропитки бумаги расплавленной смолой. Этот способ не требует растворителя и тем самым значительно снижает стоимость и повышает производительность. Принципиально он должен привести и к улучшению качества гетинакса, так как о устранением из процесса растворителя исключается также содержащаяся в нем влага.

Однако некоторые трудности освоения привели к применению смол с увеличенным периодом полимеризации и пониженной точкой плавления и, следовательно, с большим содержанием свободного фенола и летучих.

Сравнение структуры гетинакса Б, А и Рахोलин Q (рис. на стр. 28) показывает, что содержание смолы в гетинаксе Б значительно меньше, чем в Рахолин Q и гетинаксе А, и что для изготовления Рахолин Q применена бумага, заметно более тонкая, обладающая меньшей впитываемостью, чем применяемая заводом «Изолит» сульфатная. Увеличенным содержанием смолы обеспечивается водоупорность гетинакса и стабильность электрических свойств, приводя к уменьшению сопротивления ударному изгибу, а применение тонкой бумаги, вероятно, направлено к компенсации этой потери механической прочности.

В 1938—1939 гг. лаборатория завода «Изолит» провела ряд работ по выяснению основных факторов, влияющих на качество гетинакса. В итоге были установлены некоторые интересные факты.

В частности, установлено, что электрические свойства гетинакса в основном зависят от содержания летучих в пропитанной бумаге (рис. 1); улучшения этих характеристик можно достичь уменьшением содержания летучих в процессе пропитки или термообработкой пропитанной бумаги.

<sup>1</sup>Трудность получения сравнительно легкоплавких смол с уменьшенным содержанием летучих усугубляется недостаточным содержанием метакрезола в трикрезоле, поставленном заводу «Изолит».

Водоупорность гетинакса и стабильность его электрических свойств гарантируются глубокой пропиткой и достаточным содержанием смолы, препятствующей проникновению влаги в гетинакс при заполнении капилляров. Достаточное содержание смолы дает также возможность подвергнуть пропитанную бумагу термообработке, способствующей удалению летучих из бумаги, уменьшению пластичности смолы и более уверенному переводу смолы в резит в процессе прессования. Наконец, доста-

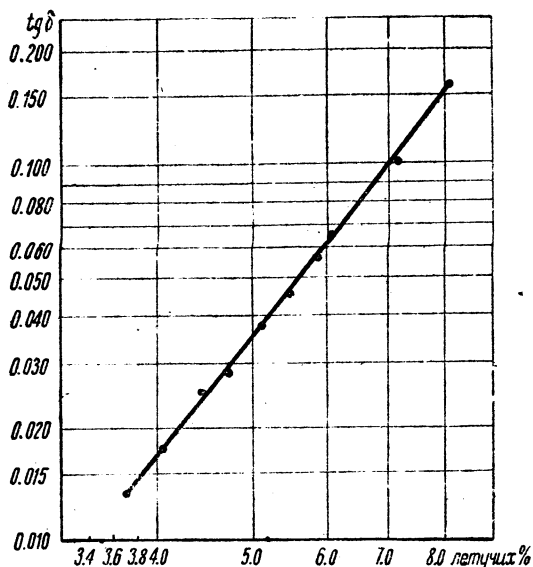


Рис. 1. Диэлектрические потери  $\text{tg } \delta$  гетинакса в зависимости от содержания летучих в кабельной бумаге

точная по содержанию и глубине проникновения смолы пропитка предохраняет бумагу от поглощения влаги из воздуха в процессе хранения. Однако с увеличением содержания смолы несколько понижается механическая прочность гетинакса.

Смолы должны обладать водоупорностью не только после перевода их в резит в гетинаксе, но и в процессе производства, т. е. в процессе хранения смолы или пропитанной бумаги. Этому требованию удовлетворяют смолы, содержащие наименьшее из возможных количество свободного фенола и имеющие высокую точку плавления. Это сравнительно легко достижимо применением при изготовлении крезольных смол трикрезола с достаточным содержанием метакрезола.

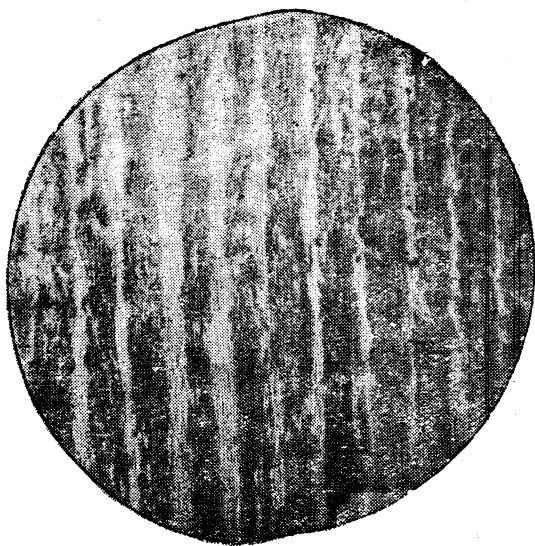
Бумага должна обладать равномерной, но не излишне большой впитываемостью, гарантирующей хорошую и глубокую пропитку, однако в то же время не способствующей излишнему увлажнению.

Избегая деталей, сделаем несколько замечаний о применении текстолита и наиболее важных особенностях технологии его изготовления. Как известно, текстолит изготавливается из ткани, пропитанной синтетической смолой, путем горячего прессования. В отличие от гетинакса, электрические характеристики текстолита зависят почти полностью от качества применяемой смолы, так как основа (ткань) редка и является только скелетом, связывающим смолу.

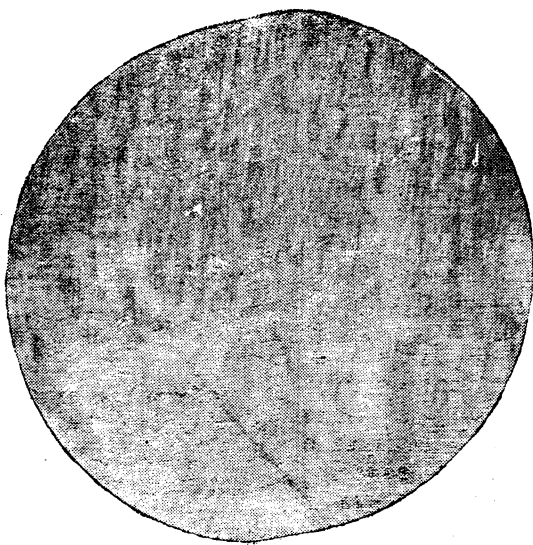
D. J. № 7701, Entwurf 1 предусматривает два сорта текстолита — один, изготовленный на основе ткани средней плотности, другой — на основе грубой ткани, — текстолит из грубой ткани обладает



А



Б



Paxolin

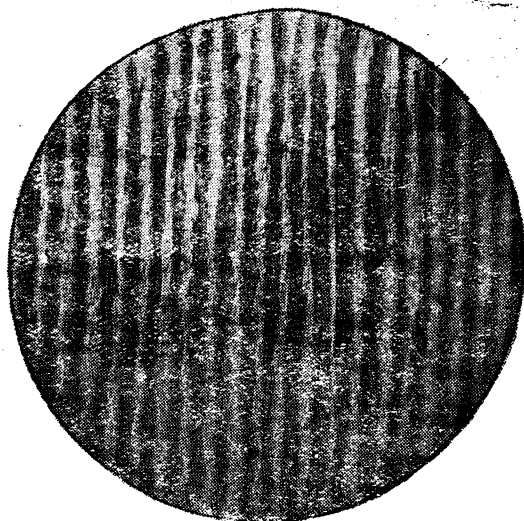


Рис. 2. Микрофотографии горна гетинакса различных марок

несколько лучшими механическими свойствами. Предусмотренные этим проектом свойства тексто-

лита из тканей средней плотности ничем не отличаются от требований проекта стандарта и технических условий на листовую электротехнический текстолит, изготавливаемый заводом «Изолит» тканей такой же плотности (бязь, миткаль). В всякого сомнения, что механические свойства текстолита могут быть значительно улучшены подбором соответствующей ткани для его изготовления. Подбором ткани должен заняться в текущем году Научно-исследовательский текстильный институт совместно с лабораторией завода «Изолит».

Электрические свойства текстолита обусловлены теми же требованиями к смолам и технологии, что и для гетинакса, в первую очередь мероприятиями направленными к удалению летучих из пропиточной ткани. Заметное улучшение электрических свойств, как это установлено нашими работами, может быть достигнуто и термообработкой готового текстолита, чего нельзя сказать о гетинаксе. Такая термообработка ведет, вероятно, к удалению некоторого количества летучих из текстолита и завершает перевод смолы в резит. Однако процесс термообработки весьма длителен и не гарантирует от последующего поглощения влаги из воздуха и следовательно, и возврата текстолита к первоначальным свойствам. Во избежание ухудшения электрических свойств можно рекомендовать после термообработки текстолитовые детали подвергать следующей лакировке водоупорным лаком.

Второй тип волокнисто-бакелитовой слоистой изоляции — намотанные изделия, по способу изготовления и структуре, как это было сказано выше, заметно отличается от прессованных изделий. У подавляющего большинства таких изделий слои бумаги перемежаются с слоями смолы.

Все литературные источники рекомендуют эти изделия для применения либо в трансформаторном масле, либо в условиях сырого воздуха, после предварительного тщательного покрытия влагоустойчивым лаком.

Весьма существенным недостатком намотанных изделий следует считать заметно повышенную в сравнении с прессованными водопоглощаемость для уменьшения которой и сохранения стабильности электрических свойств в настоящее время могут быть применены два метода: покрытие изделий влагоупорным лаком, препятствующим проникновению влаги внутрь изделий, применение глубокой пропитки бумаги. Работы лаборатории завода «Изолит», направленные на получение и освоение влагостойких лаков для покрытия намотанных изделий, до сего времени не дали ожидаемых результатов.

Значительный технический интерес представляет задача повышения механической прочности как намотанных, так и прессованных изделий (сопротивления скалыванию и разрывной прочности). Проведенные нами работы позволили установить, что значительных результатов по улучшению механических свойств волокнисто-бакелитовой слоистой изоляции можно достичь применением более толстых бумаг, при этом с не меньшей разрывной прочностью, чем у применяемых заводом в настоящее время.

Этим путем достигнуто увеличение временного сопротивления на разрыв гидравлическим давлением для бумажно-бакелитовых трубок и горшков

для газильных камер, примерно на 30—50%, с одновременным повышением временного сопротивления скалыванию.

Дальнейшие исследования должны быть направлены в сторону улучшения качества применяемых смол, усовершенствования геркалитового метода пропитки, подбора специфицированных сортов бу-

маг (для удовлетворения специальных требований потребителей к свойствам материалов и изделий), подбора ткани для текстолита, методов установления готовности смол и окончания термических процессов, и, наконец, освоения водоупорных лаков для намотанных изделий.

## Электрическая сепарация материалов с помощью коронного разряда<sup>1</sup>

С. П. ЖЕБРОВСКИЙ, Н. Ф. ОЛОФИНСКИЙ, П. М. РЫВКИН и Е. М. БАЛАБАНОВ

Государственный институт редких металлов

СЕПАРАЦИЯ материалов, основанная на использовании коронного разряда, уже нашедшего применение в электрофильтрах, является новым делом. Существующие электростатические методы сепарации по ряду технических и, главным образом, экономических причин не получили распространения. При применении нового метода электросепараторы могут быть построены на значительно большую производительность и разделять материалы, крупность которых может меняться в широких пределах.

Описываемый метод сепарации применим в рудной, золотой, цветных, редких металлов и других отраслях промышленности.

Работу электрофильтра определяют главным образом два процесса: зарядка взвешенных частиц в электрическом поле и удержание частиц на осадительном электроде. Оба процесса зависят от многих факторов, сильно меняющихся в зависимости от времени. Все это затрудняет исследование явлений, происходящих в электрофильтре. Количественные соотношения в настоящее время установлены лишь для простейших случаев и только для определения величины заряда частиц и к. п. д. электрофильтра. Эти данные позволяют, однако, заключить, что процесс электрической очистки газа, при прочих равных условиях, определяется также родом вещества, удаляемого из газа.

В частности, в этом процессе весьма важное значение имеют электрические свойства вещества, в особенности, когда мы имеем дело со смесями различных материалов. Это положение было нами проверено экспериментально в 1936 г. Тогда нами было обнаружено, что при известных условиях можно разделить в электрофильтре вещества, состоящие из нескольких компонентов, и тем самым осуществить электрическую сепарацию материалов. Формулы Rohmann [1], Arendt и Kallmann [2] и Pauthenier [3], определяющие заряд сферической частицы, находящейся в ионизированном электрическом поле, показывают, что процесс зарядки частиц зависит от диэлектрической постоянной и размеров частицы. Если же частица — проводящая ( $\epsilon = \infty$ ), заряд ее будет, понятно, больше непроводящей частицы того же радиуса. Проводимость частиц предопределяет распределение заря-

дов на них и оказывает существенное влияние на процесс зарядки, в особенности в случае частиц неправильной формы, где вследствие асимметрии возможны участки с большими градиентами, препятствующими продолжению процесса зарядки.

Упомянутая формула Pauthenier позволяет найти аналитическое выражение траектории сферической частицы, падающей в зоне коронного разряда, при электродах провод и цилиндр.

Уравнение этой траектории в параметрическом виде будет:

$$r = b + \frac{3}{8} \frac{\left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right) E^2}{\pi \rho \gamma} \left[ r^2 + \frac{t}{k N e \pi} - \left( \frac{t}{k N e \pi} - \frac{1}{k N e \pi} r \right) \ln \left( 1 + k N e t \right) \right],$$

$$z = \frac{g t^2}{2} = 490 t^2,$$

где  $b$  — положение частицы в начале падения ( $z=0$ );  $\gamma$  — плотность и  $\rho$  — радиус ее. (Ось  $z$  совпадает с осью электрофильтра.)

На рис. 1 приведены вычисленные траектории частиц для различных  $\epsilon$ .

Если заменить металлический цилиндр сетчатым, то пересечение траектории с сеткой означает удаление частицы из зоны коронного разряда. Можно с достаточным приближением принять траекторию частиц за прямую. Тогда поведение частиц определится угловым коэффициентом прямой:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{8} \frac{\left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right) E^2}{490 \pi \rho \gamma}.$$

Физические свойства частиц находят свое отражение в величине

$$\kappa = \frac{1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}}{\rho \gamma}.$$

Величина  $\kappa$  является, таким образом, фактором объемной сепарации. Очевидно, что, например, разделение смеси из двух компонентов будет происходить тем легче, чем больше отношение соответствующих факторов сепарации  $\frac{\kappa_1}{\kappa_2}$ .

Изменяя радиус сетчатого цилиндра  $R$ , началь-

<sup>1</sup> Авт. свид. Н. Ф. Олофинского, П. М. Рывкина и М. В. Бачковского. Авт. свид. № 189553, 1936.

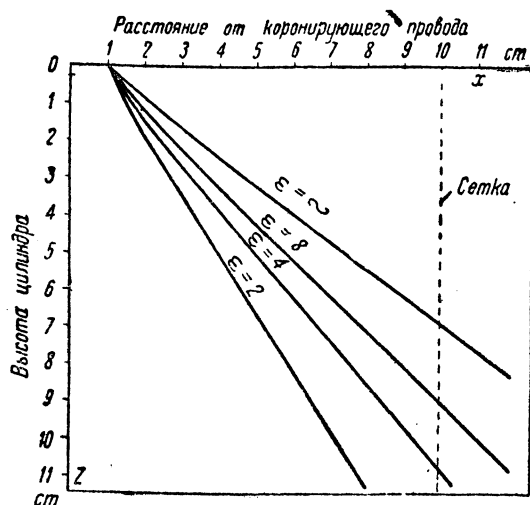


Рис. 1. Траектории частиц в электросепараторе ( $D = 200$  мм;  $\rho = 0,01 \Omega$ ;  $E = 5$  cgs)

ную точку падения  $b$  и напряженность электрического поля  $E$ , мы можем влиять на процесс разделения.

Частица, получив заряд одного знака с коронирующим электродом, будет двигаться к противоположному электроду. После соприкосновения с электродом она начнет разряжаться через некоторое сопротивление  $R$ , которое определяется суммой собственного и контактного сопротивлений между частицей и заземленным электродом.

Одновременно частица будет пополнять свой заряд за счет приходящих к плоскости объемных зарядов.

Частицу и плоскость можно рассматривать как обкладки конденсатора. В таком случае разрядка частицы будет идти по уравнению:

$$Q_1 = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}},$$

где  $Q_0$  — заряд при  $t=0$ ,  $C$  — емкость между частицей и плоскостью.

Скорость изменения заряда частицы

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ_1}{dt} + \frac{dQ_2}{dt},$$

где  $\frac{dQ_2}{dt}$  — скорость зарядки частицы, находящейся на плоскости.

Это уравнение дает величину остаточного заряда, который удерживает частицу на плоскости.

Таким образом мы приходим к выводу, что частицы разных материалов должны в электрофилт্রে иметь неодинаковые траектории, и точки осаждения проводящих и непроводящих частиц по оси электрофилтра не должны совпадать. Однако это

будет верно лишь для частиц одной и той же крупности и формы. В действительности, частицы имеют самые разнообразные размеры, причем и поверхности их сильно отличаются от сферической. Наличие сцепления, а также процессы у стенки осадительного электрода усложняют картину. Поэтому, хотя и имеются известные теоретические предпосылки, которые указывают на возможность сепарации материалов с помощью электрофилтра, но практически решить этот вопрос можно было только экспериментально.

**Экспериментальное исследование.** Первоначально для опытов применялись искусственные смеси вещества небольшого удельного веса с известными диэлектрическими постоянными и проводимостями. Позднее работа велась с различными рудами.

Из искусственных смесей наиболее подробно была изучена смесь алиберовского графита (удельное сопротивление которого близко к группе металлов) с золой подмосковного угля ( $\epsilon \approx 3$ ).

Эти опыты производились на трубчатом электрофилт্রে с пробивным напряжением 45 кВ и критическим коронным — 12 кВ. Осаждение отдельных составляющих смеси производилось на стеклянную или металлическую пластинку шириной 15 мм, высотой около 600 мм, закрепленной в плоскости цилиндра, вдоль оси его. Для удержания слоя вещества полоска смазывалась с одной стороны тонким слоем глицерина.

Опытами было установлено, что при любых напряжениях выше 12 кВ, скоростях газа и процентном содержании графита в смеси, получается разделение графитовых смесей и руд.

При рассмотрении запыленных полосок (продольных разрезов электрофилтра) обнаружилось, что осевший на них слой вещества распределялся по длине между тремя зонами (рис. 2): зоной, содержащей чистую золу,  $b$  — промежуточной, содержащей смесь графита с золой (количество которой постепенно уменьшалось) и зоной  $c$ , состоящей из чистого графита. Фотография рис. сделана для смеси с 25% содержанием графита экспозиция при опыте 15 сек.

Характер разделения меняется в зависимости условий опыта.

При повышении скорости газа длина зоны уменьшалась, а зон  $a$  и  $b$  увеличивалась.

Для получения обогащенного материала непосредственно в бункере была применена конструкция электросепаратора, показанная на рис. 3. Осадительный цилиндр состоял из двух частей: нижней — сплошной и верхней — сетчатой, окруженной сплошным наружным цилиндром — бункером.

Пылеподающее устройство состоит из бункера  $k$  и шнека  $l$  с распылителем  $m$ . Из бункера руды мелоченная руда (пыль) попадает в шнек. Пройдя шнек и распылитель пыль напором воздуха от в



Рис. 2

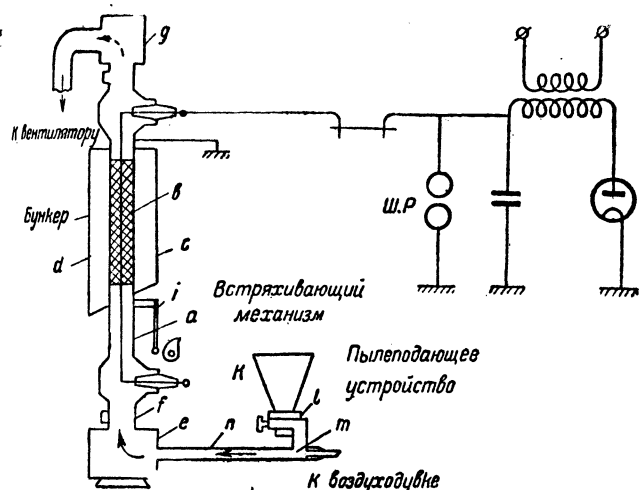


Рис. 3. Схема цилиндрического сепаратора

духодувки подается по трубе *п* в смешительную камеру *е*, затем в патрубок *ф* и, наконец, в трубу *а* электросепаратора. Далее чистый газ отсасывается вентилятором через верхнюю камеру электросепаратора *г*. Встряхивание — автоматическое. Разделение в этом сепараторе осуществлялось следующим образом.

Путем подбора режима — скорости газа, напряжения и пр., устанавливались оптимальные условия, при которых зоны *а* и *б* осаждались на сплошном металлическом цилиндре, а зона *с*, соответствующая графиту, — на сетчатом. Сквозь сетчатый цилиндр частицы графита проходили свободно и попадали в бункер.

Опыты показали, что при надлежаще подобранном автоматическом встряхивании сплошного металлического цилиндра на сепараторе подобной конструкции получают хорошие и устойчивые результаты сепарации.

Результаты опытов на этой установке приведе-

Таблица 1

Исследуемый материал	Крупность меш	Скорость газа м/сек	Напряжение кВ	Содержание графита в концентрате %
10% смесь графита с золой	—150	0,2	25	97,0
0,5%	—150	0,2	20	85,0
Руда с содерж. графита 6—7%	—48—100	0,2	20	99,0
То же	—100	0,2	20	93,0
Руда союзного месторождения	—100	0,2	18	90,0

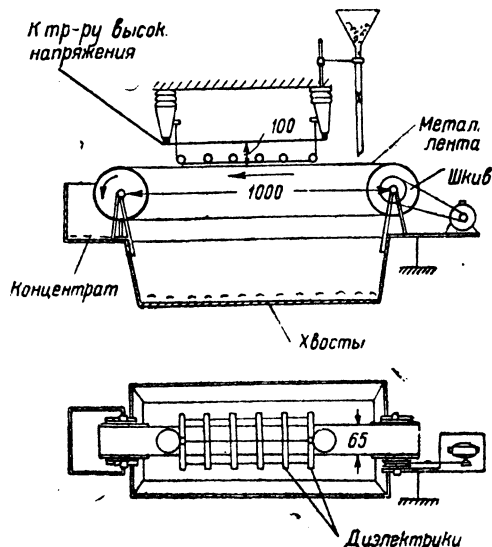


Рис. 4. Схема ленточного сепаратора

1 — металлическая лента; 2 — шкив; 3 — концентратор; 4 — хвосты  
5 — диэлектрики

ны в табл. 1. Цифры таблицы являются средними значениями из 80 измерений.

Как видно из таблицы, содержание графита в концентрате колеблется от 85 до 99%, при содержании его в исходной смеси от 0,5 до 10%. Извлекалось графита в концентрат около 82—84%.

В 1938 г. нами исследовался вопрос о возможности обогащения цирконовых золотосодержащих шлихов<sup>2</sup>. Для этой цели были сконструированы специальные типы электросепараторов, в которых подача материала была предусмотрена сверху вниз, вследствие большого удельного веса, намеченного к обогащению материала (шлихи, золото).

Были разработаны два типа таких сепараторов. В одном сепараторе применялся обычный трубчатый электрофильтр и сепарация осуществлялась на принципе использования различия траектории частиц, падающих в области коронного разряда.

В другом электросепараторе — конвейерного типа (рис. 4) принята конфигурация электродов провод — плоскость. Если смесь материалов будет поступать на металлический заземленный электрод, находящийся в зоне коронного разряда, то вещества, обладающие плохой проводимостью получат заряд за счет ионов и будут прижиматься к заземленному электроду. Проводящие частицы не будут удерживаться на электроде.

При наличии достаточной интенсивности короны проводящие частицы будут вынесены за пределы

<sup>2</sup> Работа проводилась при консультации проф. С. П. Александрова.

Таблица 2

	Выход %	Содержание циркона %	Извлечение циркона %	Содержание золота г/т	Извлечение золота %
Исходный материал	—	51,0	—	571,3	—
Концентрат	30—32	97,0—99,46	60,4—63,0	2,5	0,13
Промпродукт	20,3—21,1	74,0—89,0	32,4—36,5	232,7—260,9	8,2—10,3
Хвосты	45,2—47,9	3,53—4,6	3,1—4,6	1073—1107,2	89,7—91,67

электрода, так как на них действуют электростатические силы совместно с воздушным потоком, создаваемым электрическим ветром.

Конструктивное оформление такого рода сепараторов может быть различным — либо в виде металлической ленты, перемещающейся вдоль коронирующего провода, либо в форме металлического барабана, вращающегося около коронирующих проводов.

В качестве отрывающей силы можно использовать силу тяжести и центробежную силу (вертикальная металлическая лента, вращающийся барабан и т. д.). Для усиления силы отрыва можно помещать у заземленного электрода диэлектрики, искажающие электрическое поле. Под диэлектриками, кроме того, уменьшается концентрация ионов, а следовательно, снижается заряд и сила, прижимающая частицы к заземленному электроду.

На цилиндрических установках исследована была возможность извлечения из шлихов остаточного золота, на конвейерной установке — циркона.

В табл. 2 даны результаты обогащения цирконовых шлихов на конвейерном сепараторе.

**Выводы.** Опыты показали, что с помощью метода электросепарации можно эффективно обогащать различные материалы с любым удельным весом (золотосодержащие цирконовые шлихи, касситеритовые, монацитовые, шеелитовые и др.), а так-

же осуществлять доводку цирконовых, касситеритовых, шеелитовых и прочих концентратов.

Принцип, положенный в основу метода электросепарации, может быть также с успехом использован для создания компактной индикаторной аппаратуры, необходимой для полевых геологоразведочных и других работ. С помощью подобной аппаратуры легко можно определять некоторые, трудно различимые без химических анализов минералы: графит, молибденит и др. Производительность сепараторов не ограничена какими-либо конструктивными особенностями.

В настоящее время параллельно с изучением теории процесса осуществляется внедрение электросепарации в промышленность.

#### Литература

1. Rohmann. Zeit. f. Phys. 17, 253, 1923.
2. Arendt und Kallmann. Zeit. f. Phys. 35, 421, 1924.
3. Pauthenier. Journ. de Phys. 12, 1932.
4. Mierdel. Zeit. f. techn. Phys. 15, 169, 1934.
5. Deutsch. Ann. de Phys. (5), 16, 588, 1933.
6. Mierdel und Seeliger, Arch. f. El. H. 3, 149, 1935.
7. Mayr. Raumladungsprobleme in Hochspannungstechnik. Arch. f. El. 18, 274, 1927.
8. Энгель и Штенбек, Физика и техника электрического разряда в газах.
9. Johnson. Eng. and Mining Journ. Jan, May, 1938.
10. Жебровский, «Электричество» № 24, 1936.

## О составе и строении сплавов для контактов электротехнических аппаратов

**Л. С. ПАЛАТНИК**

*Харьковский электромеханический завод им. Сталина*

**В** УСТАНОВОЧНЫХ автоматах и других электроаппаратах через замкнутые контакты проходят токи порядка 50—600 А. При размыкании же электрической цепи образуется дуга, и токи достигают нескольких тысяч и даже десятков тысяч ампер, что разрушительно влияет на контакты. В подобных условиях серебряные и, в особенности, медные контакты очень быстро приходят в негодность, так как происходит сваривание их, окисление и прочее [1].

В литературе [2] можно встретить указания о развитии во время дуги на небольшом участке контакта — на «катодном пятне» — высокой температуры. Температура катодного пятна, например, меди и серебра, достигает порядка 1500°, что выше их температуры плавления (1083° и 960,5° соответственно). Этим, очевидно, и объясняется упомянутое явление приваривания, а также разбрызгивание металла серебряных и медных контактов, — «по причине быстрого и непрерывного перемещения «катодного пятна» по поверхности контакта, так как струя образующегося пара увлекает за собой мелкие капли металла (Комптон)» [2]. «Монометаллические» контакты различных фирм заменяют специальными сплавами, так как предъявляемые к контактам требования столь противоречивы, что ни один из чистых металлов не в состоянии удовлетворить всем им одновременно.

Как известно, контактам на большие токи должны быть присущи следующие основные свойства [1, 3]: отсутствие сваривания при максимальных допустимых токах размыкания, малое переходное сопротивление, минимальные потери (в частности при «переносе») металла при включениях и выключениях. В дополнение к этим требованиям возникает необходимость в наличии следующих физико-химических свойств контактных материалов: большая электро- и теплопроводность (при высоких температурах); малая твердость, значительная вязкость, механическая прочность; термическая устойчивость (механическая прочность при высоких температурах); малая упругость паров и большие значения скрытой теплоты испарения; устойчивость против химической и электрохимической коррозии в условиях работы контактов.

**О принципе выбора сплавов для контактов.** Рассмотрим, какие сплавы могут удовлетворить этим многочисленным и даже противоречивым требованиям.

Прежде всего нам представляется очень трудным найти такой универсальный сплав среди однофазных сплавов. Проиллюстрируем эту трудность на примере электропроводности сплава. Как известно, высокой электропроводностью не отличаются соединения, ни твердые растворы [4]. Однофазные сплавы вряд ли практичны для нашей цели, уж



потому, что трудно подобрать фазу, устойчивую в широком интервале температур рабочих участков<sup>1</sup> контактов (иначе говоря, в сплаве необходимо отсутствие полиморфных, фазовых превращений и различных процессов диффузионного характера — старения, упорядочения).

Поставленная задача изыскания сплавов для контактов может быть упрощена, если обратиться к гетерогенным сплавам.

Основной принцип подбора гетерогенных сплавов для контактов заключается в создании системы, в которой совмещались бы свойства составляющих ее элементов (недостижимые в однофазном сплаве).

В виде аналогии такой системе можно привести известный строительный материал — железобетон, элементами которого являются железная арматура, хорошо сопротивляющаяся растяжению, и бетон, сопротивляющийся сжатию.

Естественно выбрать в качестве одной из фаз сплава (компонент  $A$ ) серебро или медь. Другие вспомогательные компоненты ( $B$ ) следует подбирать так, чтобы они дополняли систему недостающими ей свойствами. Это благоприятное сочетание свойств каждой из фаз сплава, сводящееся к удлинению срока службы контактов (путем повышения устойчивости фазы  $A$  против воздействия дуги или к уменьшению интенсивности вольтовой дуги), должно идти по пути: повышения термической устойчивости фазы  $A$ ; уменьшения потерь металла; понижения переходного сопротивления фазы  $A$  благодаря предохранению ее от окисления с помощью фазы  $B$ .

Повышение термической устойчивости и понижение переходного сопротивления фазы  $A$ . Скорые методы испытания сплава. Повышение термической устойчивости легкоплавкой фазы  $A$  может быть произведено при наличии для нее капиллярного эффекта, за счет менее проводящей, но более тугоплавкой фазы  $B$  (температура плавления фазы  $B$  должна быть не ниже температуры катодного пятна для фазы  $A$ ).

Гетерогенный сплав  $A-B$  должен быть построен из самостоятельных непрерывных и перемежающихся между собой скелетов, образованных тесным сцеплением частиц каждого из двух сортов  $A$  и  $B$ . Условие непрерывности скелета  $A$  вызвано требованием высокой проводимости и малого переходного сопротивления сплава. Скелет  $B$  должен быть непрерывным для механической устойчивости при высоких температурах.

Под влиянием дуги рабочий участок скелета  $A$  мгновенно переходит в жидкое (и парообразное) состояние. Примыкающая к этому участку часть скелета  $B$ , как менее проводящая и более тугоплавкая, остается в твердом состоянии. Благодаря этому сплав  $A-B$  при работе в качестве контакта идет менее подвержен разбрызгиванию и привариванию, чем однофазный сплав.

Для того, чтобы жидкий металл  $A$  удерживался выделения из скелета  $B$ , необходимо равновесие: между силами поверхностного натяжения на границе воздух — жидкость  $A$ , силами смачивания

по данным Хольма и Гульденпфеннига [5], при размытии контактов дуга длится несколько сотых секунд. При мгновенном процессе все материалы практически становятся непроводниками. Поэтому интенсивное разогревание происходит лишь на небольшом рабочем участке контакта.

Таблица 1

Компонент $A$	$T$ °C	$p_0$ at	$p$ at	$\alpha$ $\frac{\text{dyn}}{\text{cm}}$	$\frac{d\alpha}{dT}$ $\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^\circ\text{C}}$	$D$ mm	Примечание
Серебро	1000°	1	—	910	-0,13	0,01	$\alpha$ вычислено по $\frac{d\alpha}{dT}$
	3390°	1	—	612	—	0,002	
	1100°	—	~2	910	—	0,04	
Медь	1200°	1	—	1160	+0,7	0,01	$\alpha$ вычислено по $\frac{d\alpha}{dT}$
	3390°	1	—	2693	—	0,001	
	1200°	—	~2	—	—	0,05	

(скелет  $B$  — жидкость  $A$ ) и развиваемым с температурой давлением газов внутри пор.

Для приближенного вычисления минимального размера  $D$  частиц  $A$  или хотя бы порядка их величины, при котором жидкость  $A$  не будет выделяться из капилляров скелета  $B$ , мы учтем влияние поверхностного натяжения и передающегося жидкости давления газов, заключенных в порах<sup>2</sup>.

Принимая во внимание формулу Лапласа, находим:

$$D \approx \frac{4 \cdot 273}{1033 \cdot 981} \cdot \frac{\alpha}{p_0 (T - T_0 - 273)} \approx 0,054 \frac{\alpha}{p - 1} \text{ cm}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — поверхностное натяжение жидкого металла  $A$  в  $\frac{\text{dyn}}{\text{cm}}$ ;  $p$  и  $p_0$  — давление в порах при температуре  $T$  и нормальной температуре  $T_0$  в ат.

Из табл. 1, вычисленной по формуле (1), видно, что минимальные размеры частиц серебра и меди должны быть порядка 0,01 mm. Следует заметить, что при таких размерах частиц  $D$  легко осуществим на практике микроанализ строения сплава  $A-B^3$ .

Для испытания термической устойчивости при параллельном применении микроскопического исследования мы предлагаем нагревать исследуемый сплав до температуры  $T$ , лежащей в интервале

$$T_s < T \leq T_m$$

где  $T_s$  — температура плавления компоненты  $A$ ;  $T_m$  — максимальная температура, развиваемая на рабочем участке контакта. Можно ожидать, что контакты не будут привариваться и деформироваться, если при этом испытании не произойдет заметное выделение капель компонента  $A$  и вспучивание сплава.

Кроме повышения термической устойчивости, фаза  $B$  сплава может сообщать своему партнеру — фазе  $A$ , а следовательно, и самому контакту, — по-

<sup>2</sup> Данными о силах смачивания мы не располагаем. Изменение объемов пор вследствие расширения частиц сплава и расплавления  $A$  также не учитывается.

<sup>3</sup> Иллюстрацией того, что расплавленный и парообразный металл  $A$  может удерживаться в промежутках скелета  $B$ , является следующий пример: в пористых материалах вода удерживается капиллярными силами в сообщающихся микроскопических порах при нагревании до высоких температур, когда возможны переход в пар и развитие больших давлений.

нижение переходного сопротивления в рабочем интервале температур. Это возможно, если будет выполнено одно из условий: 1) наличие в сплаве микропар из частиц  $A$  и  $B$ , из коих  $A$  являются более электроположительными, что может предохранить металл  $A$  от окисления, за счет компоненты  $B^+$ ; 2) повышенная по сравнению с  $A$  абсорбционная способность компонента  $B$  (или повышенное сродство его к кислороду), что создаст условия для постоянного восстановления окислов компонента  $A$ .

Для качественной оценки происходящего при работе контактов уменьшения величины переходного сопротивления сплава можно предложить следующий метод: нагревание до температуры, лежащей в интервале  $300\text{--}1000^\circ$  в течение нескольких минут предварительно изготовленных шлифов исследуемого сплава и чистого металла  $A$  с последующим исследованием в микроскопе степени окисления фазы  $A$  в обоих случаях.

**Физико-химические процессы в контактных сплавах.** Теперь, на основании изложенных соображений, можно набросать общую картину физико-химических процессов, могущих протекать в рабочей области сплава  $A\text{--}B$  при размыкании контактов:

1. В системе  $A\text{--}B$  совершается искусственное восстановление фазы  $A$ , понижение переходного сопротивления.

2. Система в течение доли секунды переходит в состояние твердой эмульсии или, частично, в состояние твердой пены, благодаря чему увеличивается термическая устойчивость (и возможно уменьшение переноса) при температурах, превышающих точку плавления фазы  $A^5$ . Вслед за разогреванием наступает охлаждение рабочих участков сплава, хотя и не столь быстрое, как первое, но протекающее все же с большой скоростью.

Быстрые процессы нагревания и охлаждения налагают некоторые новые условия на физико-химические и физико-механические свойства системы. В рабочем интервале температур для сплава  $A\text{--}B$  должны удовлетворяться следующие требования:

1. Отсутствие соединений между фазами  $A$  и  $B$  и растворимости в твердом и жидком состояниях.

Образование соединений и твердых растворов  $A$  в  $B$  или  $B$  в  $A$  вызывает диффузионные процессы — старение сплава, упорядочение — и фазовые превращения, ухудшающие физико-механические свойства контактов и изменяющие удельный объем сплава [7]. Кроме того, дисперсное выделение из твердых растворов частиц  $A$  и  $B$ , наиболее интенсивно протекающее по границам зерен [7, 8], является причиной нарушения непосредственного контакта между частицами одного сорта, в результате — уменьшение электропроводности сплава и другие недостатки.

Сплав также не должен образовывать эвтектики, обладающей, как известно, пониженной температурой плавления и повышенной твердостью.

2. Отсутствие в сплаве механических и других изменений, влекущих за собой разрывы связей в скелетах, а следовательно, нарушающих нормальную работу контактов.

<sup>4</sup> Известно, что защитные покрытия делаются из более электроотрицательного металла по сравнению с защищаемым. Не обязательно иметь сплошное покрытие. Защита имеет место даже при наличии обнаженных участков электроположительного металла. Указанное остается справедливым и для рассматриваемых нами сплавов.

Нарушение непрерывности скелетов  $A$  и  $B$  возможно вследствие либо полиморфных и фазовых превращений, протекающих с значительными объемными изменениями, либо резкого различия в коэффициентах термического расширения фаз  $A$  и  $B$ ; оно может также быть обусловлено высоким давлением в газовых порах (вспучивание сплава, вытеснение жидкости  $A$  из капилляров).

Как видно, некоторые из этих условий зависят от свойств фаз, другие же — от технологии изготовления сплава.

Изготовление сплава должно проводиться методом спекания [см., например, 10, 11], но с таким расчетом, чтобы при работе контактов объемные изменения фаз, при расширениях и сжатиях, не мешали системе возвращаться в нормальное состояние без нарушения скелетов.

**Примеры выбора контактных сплавов.** В настоящей работе мы ограничимся несколькими примерами выбора двухфазных сплавов из двух элементов. В последнем случае число комбинаций сплавов довольно невелико и интересующие нас свойства соответствующих двойных систем довольно хорошо изучены.

Выбор компонентов  $B$  можно черпать не только среди чистых металлов, но и среди окислов, силикатов, алюмосиликатов и прочих соединений. Эти соединения должны обладать высокой температурой плавления, адсорбционной способностью, способностью спекаться, достаточной механической прочностью и прочими свойствами, необходимыми для фазы  $B$ . Замена элементов соединениями представляет большой практический интерес, поскольку фазой  $A$  может служить медь, дающая очень малое и не вполне удовлетворительное число комбинаций с  $B$ -элементами, недостаточно «облагораживающими» медь (предохраняющими ее от окисления и т. п.).

Для суждения о свойствах двойных сплавов элементов ниже приводится табл. 2, в которой дана выборка двойных систем в разрезе интересующих нас требований к сплавам для контактов<sup>6</sup>. В перечисленных в ней системах наиболее близкие к требованиям теории следующие: системы с компонентой  $B$ :  $W$ ,  $C$ ,  $Ni$ ,  $Co$ ,  $Mo$ ,  $Cr$ ,  $Ta$  или системы  $Cu$  с компонентой  $B$ :  $W$  или  $C$ .

Однако и эти сплавы все же еще далеки от идеальных. Несомненно, можно подобрать более удачные комбинации, если не ограничивать себя столь узким кругом сплавов (двухфазных, из двух элементов), которые приведены здесь лишь в качестве иллюстрации метода выбора сплавов для контактов.

Интересно отметить, что из только что отобранных по требованиям теории сплавов многие уже применяются различными фирмами в качестве контактов автоматов и других аппаратов. Количественный состав этих сплавов приближается к рекомендуемому.

<sup>5</sup> Укажем на целесообразность сочетания обоих процессов в контактах, работающих в паре друг с другом. Например, в паре:  $Ag\text{--}C$  и  $Ag\text{--}Ni$  (см. ниже) можно предохранить никель от окисления во время дуги за счет выгорающего ( $CO$ ) графита.

<sup>6</sup> В табл. 2 не вошли некоторые системы, довольно хорошо удовлетворяющие требованиям теории, но непригодные вследствие высокой стоимости (сплавы с  $Ru$ ,  $Rh$ ,  $Os$ ) и не помещены (за недостатком места) данные о некоторых свойствах компонентов  $A$  и  $B$  ([6, 12, 13] и др.) и о недостатках сплавов  $A\text{--}B$ .

Таблица 2

Система А—В	Растворимость (вес. %)			Эвтектика В %	При температуре °С	Примечание
	в жидком состоянии	в твердом состоянии				
		А в В	В в А			
Ag—W . . . . .	Н	е	Т	—	—	Кроме указанных в тексте, данными об электрохимическом поведении большинства систем А—В, об абсорбционных свойствах соответствующих фаз сплавов и другими (в условиях работы контактов) мы не располагаем
Cu—W . . . . .	Н	е	Т	—	—	
Ag—C . . . . .	0,002	—	—	—	1940°	
Cu—C . . . . .	0,03	—	—	—	2300°	
Ag—Ni . . . . .	~3 <sup>1</sup>	~2,5 <sup>2</sup>	0,1 <sup>2</sup> 0,01 <sup>3</sup>	95 <sup>2</sup>	1435° <sup>1</sup> , 900° <sup>2</sup> 400° <sup>3</sup>	
Cu—Ni . . . . .	П о л н а я			—	—	Концентрации компонентов и соответствующие им температуры обозначены одинаковыми номерами
Ag—Co . . . . .	—	—	7·10 <sup>-4</sup>	—	1000—1200°	
Cu—Co . . . . .	~5 <sup>1</sup>	14 <sup>2</sup>	—	~70 <sup>2</sup>	1108° <sup>1</sup> , 1380° <sup>2</sup>	
Ag—Mo . . . . .	>5	—	—	—	Жидкого серебра	
Cu—Mo . . . . .	П о л н а я			—	900°	
Ag—Cr . . . . .	~3	Н е т	Н и ч т о ж н о м а л а я	8	1464°	Литература: [14] и другие источники
Cu—Cr . . . . .	~37 <sup>1</sup>			1,5% <sup>2</sup>	98,5 <sup>2</sup> и ~7 <sup>1</sup>	
Ag—V . . . . .	—	Н е т	—	—	до 1800°	
W—Mo . . . . .	П о л н а я			—	—	
Ag—Cu . . . . .	—	8	8,8	Да <sup>1</sup>	779° <sup>1</sup>	
Ag—Ta . . . . .	—	Н е т	—	—	—	

аемому автором. Например, в сплаве Ag—W автор рекомендует весовой процент 63, в соответствующем сплаве «Эльмет-Сильвунг», — изготавливаемой фирмой Molibdenum и др., он колеблется в пределах 62—72; в сплаве «Эльмет-Ротунг» Rg—Rd (Cu—W), названной фирмы компонента В составляет соответственно 75 и 65 автор рекомендует 74% и т. п. Не лишним также будет отметить, что применение этих сплавов — есть результат долговременных эмпирически-изыскательных работ многих фирм.

В заключение укажем, что проведенные автором и его сотрудником И. Б. Луковым экспериментальные исследования чистых металлов и сплавов (Ag—W, Ag—Ni, Cu—W, Cu—C и других сплавов) по предложенным выше методам находят в хорошем соответствии с теорией как в отношении строения этих сплавов, так и ожидаемых физико-химических явлений. В указанных композициях медь и серебро проявляют, хотя и не в одинаковой степени, — увеличенную термическую устойчивость и повышенную коррозионную устойчивость при высоких температурах по сравнению с чистыми медью и серебром.

В рассмотренном нами типе сплавов «улучшен» может быть основано на использовании законов дисперсионологии, т. е. на микропроцессах и на поверхностных явлениях. В этой работе такая попытка сделана на примере вычисления дисперсионности частиц. Несмотря на примитивный и приближенный характер вычислений, полученные результаты близки к действительности.

Мы позволим себе сделать предположение, что этого типа сплавы могут иметь в технике широкое применение не только для контактов, но и в других областях (см., например, сообщение автора о магнито-электропроводных сплавах в журнале «Электричество» № 2, 1940).

В настоящей работе предложен принцип синтези-

рования сплавов, который, как нам кажется, позволяет в широкой мере варьировать физические и химические свойства сплавов. Синтезирование этих сплавов можно распространить не только на чисто металлические, но и на смешанные системы — металло-силикатные и др., или системы, построенные из неметаллических компонентов.

В технике назрела, например, необходимость синтеза сверхлегких сплавов, обладающих высоким качественным числом. В данном случае имеются широкие возможности комбинирования компонентов путем применения описанного принципа синтеза контактных сплавов. Ввиду многообразия в комбинировании трудно в настоящее время предсказать пределы достижимых свойств синтезированных систем.

#### Литература

1. Третьяк. Электрическая дуга. Энергоиздат, 1933.
2. См., например, Рожанский. Физика газового разряда. ОНТИ, 1930, стр. 290 и др.
3. Усов, Лазаренко, Заславская. Труды ВЭИ, вып. 34, ОБТИ, Главэнергопрома, Москва, 1938.
4. Linde. Ann. d. Physik, 15, 219; 14, 353, 1932.
5. Holm. Guldenpfennig, Wiss. Veröf. Siemens-Werken, № 1, 1937.
6. Борелиус. Физические свойства металлов и сплавов. Энциклопедия Металлофизики, ч. 1, ОНТИ, (перевод), стр. 217, 238 и др., 1937.
7. Пивоварский. Общее металловедение ОНТИ НКТП, 1936, стр. 162 и др.
8. Hanemann. Schrader, Atlas Metallograficus 1. Gebrüder Borntraeger. Berlin, 1933. См., например, стр. 63 и рис. 686, 687 и др.
9. Свечников. «Металлург», № 3, стр. 28, 1939.
10. Бальшин. Металлокерамика. ГОНТИ, 1938.
11. Скаупи-Раковский (перевод). ОНТИ, 1938.
12. Сборник физических констант, под редакцией проф. Дорфмана и проф. Фриша. ОНТИ, 1937.
13. Landolt-Börnstein. Physikalisch-Chemische Tabellen. Springer, Berlin.
14. Hansen. Die Aufbau der Zweistofflegierungen. Springer, Berlin, 1936.
15. Немецкий патент 436678 и др.
16. Американский патент 1982812.

# Опыты отключения весьма больших токов короткого замыкания

О. Б. БРОН, Л. Б. ГАЛЬПЕРИН

Харьковский электромеханический завод им. Сталина

**Р**ОСТ мощности современных электрических установок промышленного типа и их распределительных сетей с напряжением до 1000 V привел к тому, что токи к. з. в этих установках стали достигать огромной величины, определяемой несколькими сотнями тысяч ампер. Для борьбы с разрушительным действием таких токов пришлось создавать специальные весьма мощные автоматические выключатели.

В статье мы имеем в виду описать опыты, принятые с целью испытания одного из таких мощных автоматических выключателей. При этих испытаниях был достигнут ток 265 000 А при 500 V.

Целью испытаний являлось определение разрывной мощности и электродинамической устойчивости воздушного автоматического выключателя А2080, изображенного на рис. 1 и рассчитанного для номинального тока 6000 А. Этот автоматический выключатель, изготовленный ХЭМЗ и применяемый нашей промышленностью, обладает четырьмя парами весьма мощных сплошных главных контактов 1 (давление между этими контактами превышает 0,5 т); четыре пары предварительных контактов 2 и пара разрывных контактов расположены внутри искрогасительной камеры 3 из цемент-асбестовых пластин. Для гашения дуги применено магнитное дутье, создаваемое внутри камеры 3. Включение автомата производится соленоидом 4, отключение же происходит под действием максимального быстродействующего реле. Весь автомат смонтирован на прочной цемент-асбестовой плите 5. Подвод тока к автомату осуществляется

посредством шинных выводов с задней стороны плиты.

Источником тока во время испытаний служил однофазный синхронный генератор мощностью 15 000 kVA, дававший весьма большой ток в первый полупериод к. з. Испытания велись таким образом, что полный процесс отключения к. з. испытуемым автоматом происходит за время, не превосходящее длительности первой полуволны тока генератора. Генератор приводился во вращение асинхронным двигателем, который перед опытом к. з. отключался от сети.

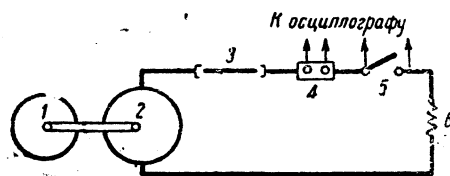


Рис. 2. Схема соединений при испытаниях

1 — приводной асинхронный двигатель; 2 — однофазный синхронный генератор; 3 — аппарат, производивший включение в заданный момент времени; 4 — шунт; 5 — испытуемый автомат; 6 — нагрузочное сопротивление

На рис. 2 приведена принципиальная схема, менявшаяся при опытах. Цифрой 2 отмечен синхронный генератор, 1 — приводной асинхронный двигатель. От генератора провода шли к специальному аппарату 3, производившему замыкание цепи статора генератора в наперед заданный момент периода переменного тока. Далее помещался безиндукционный шунт 4, соединенный со шлейфом электромагнитного осциллографа, и испытуемый автомат 5.

Ряд элементов этой схемы заслуживает более подробного описания.

Прежде всего, провода от генератора к испытуемому аппарату и обратно должны были быть такими, чтобы их сопротивление не ограничивало сильно тока к. з. и чтобы электродинамические силы, огромные при токах порядка 200 000–300 000 А, не разрушали их. Большие размеры дуги, возникшей на испытуемом автомате, звуковой и световой эффект, сопровождавший процесс отключения, а также необходимость наблюдать за автоматом во время испытания, — заставили удалить его от генератора на 35 м. Обычно применяемые для соединения генератора с автоматом шины не могли быть применены в нашем случае по следующим соображениям. Для уменьшения электродинамических сил нужно было шины удалять друг от друга, но это увеличивало сильно индуктивное сопротивление контура и ограничивало ток к. з. Нужно иметь в виду, что в наших опытах скорость нарастания тока достигала  $\frac{di}{dt} = 25 \cdot 10^6 \text{ A/sec}$ ; поэтому приходилось заботиться об уменьшении индуктивности контура. Желаемое решение было найдено благодаря применению кабельной пров

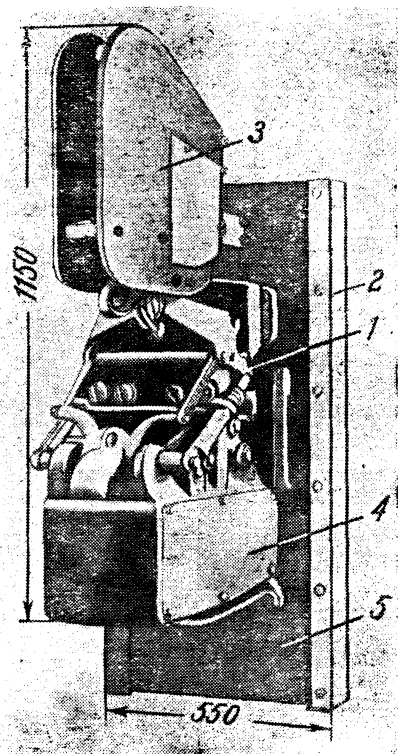


Рис. 1. Автоматический выключатель А2080. Номинальный ток 6000 А при 500 V

1 — главные контакты 2 — предварительные; 3 — искрогасительная камера; 4 — включающий электромагнит; 5 — цемент-асбестовая плита

ли. От генератора к испытуемому автомату было проложено десять параллельных concentрических кабелей с сечением жил по 400 мм<sup>2</sup>. В каждом из таких кабелей протекал прямой и обратный ток.

Для использования особенности генератора, заключающейся в том, что он давал большую амплитуду в первый полупериод, нужно было производить к. з. в момент прохождения э. д. с. генератора через нуль. Для этой цели был применен специальный аппарат<sup>1</sup>. Он состоял из 8 пар параллельных весьма мощных контактов, имевших раствор всего 5—6 мм и замыкавшихся благодаря воздействию на них электромагнита. Ток в катушке электромагнита включающего аппарата подавался через тиратрон. Сетка этого тиратрона имела отрицательный потенциал и поэтому запирала ток в цепи катушки. Подача положительного потенциала осуществлялась при помощи щеток и изоляционной шайбы, посаженной на вал ротора генератора. В изоляционную шайбу была заложена медная полоса, переключавшая между собой щетки. Перемещение щеток по окружности диска давало возможность произвести их замыкание в любой момент периода. В цепи щеток находились еще блокконтакты, замыкание которых предвляло переключение щеток. Только после замыкания блокконтактов при первом прохождении мимо медной полосы контактного устройства на сетку подавался положительный потенциал. Блокконтакты были сочленены механически с осциллографом и позволяли связать работу осциллографа и включающего аппарата.

Важным был вопрос об осциллографировании весьма больших токов к. з. Нужен был шунт, обладающий исчезающе малой индуктивностью и электродинамически устойчивый. Мы пользовались шунтом, схематически изображенным на рис. 3. Между coaxильными латунными цилиндрами 2 и 4 проложена весьма тонкая изоляция 3. В верхней части оба цилиндра сварены между собой. К нижней части одного из цилиндров присоединена подводящая ток шина, а к нижней части другого — отводящая шина. Таким образом магнитные токи цилиндров взаимно уничтожались. От точек 5 и 6 сделаны отводы к шлейфу осциллографа. Механическая прочность шунта была обеспечена его цилиндрической формой, электродинамические силы действовали радиально. Отводы к осциллографу были скручены бифилярно и расположены внутри цилиндров, образующих шунт, где магнитное поле отсутствует. Эти мероприятия имели целью устранить индуктивные влияния больших токов на проводе к осциллографу в наиболее опасном месте.

Особое внимание пришлось уделить методике установления масштабов для осциллографирования больших токов. На рис. 3 слева приведена применявшаяся для этого схема. При отсутствии тока в цепи генератора и разомкнутом автомате разрывалась цепь проводов, идущих от шунта к осциллографу. В расщепку между точками *a* и *b* вводился потенциометр IV, питаемый от аккумуляторной батареи V. Напряжение, приходившееся на всю цепь шлейфа, измерялось вольтметром V. При этих условиях снимались осциллограммы, позволяющие измерить отклонение, даваемое шлейфом.

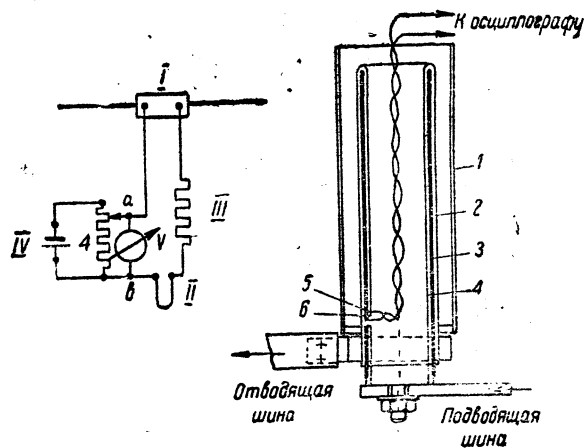


Рис. 3. Шунт для осциллографирования больших токов и схема для установки масштабов тока

— шунт; II — шлейф осциллографа; III — добавочное сопротивление; IV — потенциометр; V — аккумулятор

Если при одной полярности отклонение было  $\alpha$ , а при другой  $\beta$  мм, то масштаб тока вычислялся по формуле:

$$1 \text{ мм} = \frac{U}{R \frac{\alpha + \beta}{2}} [\text{A}],$$

где  $R$  — сопротивление шунта, а  $U$  — напряжение между точками *a* и *b*. Напряжение и подбиралось таким, чтобы отклонения шлейфа  $\alpha$  и  $\beta$  имели значения, близкие к ожидаемым при осциллографировании больших токов.

Во время описываемых испытаний было проведено две серии опытов. Первая серия была предпринята с целью выяснения поведения автомата при отключении постоянного тока. Второй серией опытов проверялась электродинамическая устойчивость автомата и его поведение при отключении больших переменных токов.

При первой серии опытов был принят следующий порядок работы: при включенном автомате 6 (рис. 2) и разомкнутом включающем устройстве 4 генератор разгонялся при помощи асинхронного двигателя. Затем генератор возбуждался, а приводной двигатель отключался от сети. Генератор начинал терять обороты. Когда частота становилась равной 8,3 Hz, производилось к. з. в момент прохождения э. д. с. генератора через нуль. Возникла большая первая волна тока. Испытываемый автомат выключал цепь раньше естественного прохождения тока через нуль. При этом осциллографировались ток и напряжение на контактах автомата. Кроме того, специальные блокконтакты позволяли отметить на осциллограмме моменты начала движения частей аппарата. Аппарат для ускоренной киносъемки системы проф. О. Б. Брона и В. А. Александрова<sup>2</sup> был применен для регистрации последовательных стадий горения и погасания дуги на контактах автомата.

Выключался ток до 90 000 А при 500 В. Продолжительность всего процесса выключения составляла около 44 msec, т. е. меньше длительности первой полуволны тока. Для того чтобы убедиться в этом, было произведено глухое к. з. гене-

<sup>1</sup> Аппарат разработан Сафаровским и Гнединым (см. „Известия ЛИИ“ № 5, 1937).

<sup>2</sup> О. Б. Брон и В. А. Александров. „Вестник электропромышленности“ № 7, 1937.



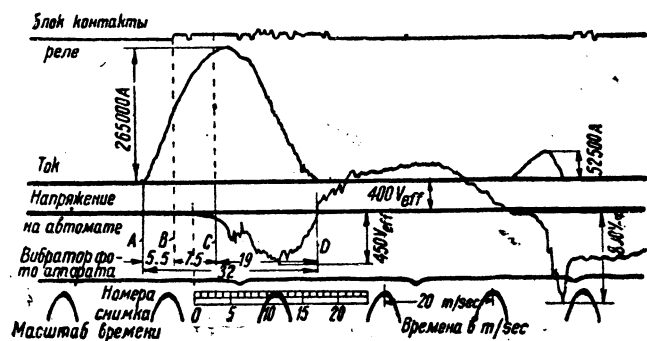


Рис. 4. Осциллограмма процессов при отключении автоматом A2080 тока 265 000 А при 500 В

ратора при заклиненном автомате. Полученная при этом осциллограмма показала, что длительность первой полуволны составляет 82 мсес. Таким образом автомат разрывал цепь раньше естественного прохождения тока через нуль, т. е. работал так, как при отключении постоянного тока. Синхронный генератор оказалось возможным использовать для испытания аппарата постоянного тока на разрывную мощность.

Первая серия опытов показала, что испытываемый автомат надежно выключал постоянный ток 90 000 А при 500 В. Возникавшая при этом вольтоса дуга подымалась на метр над камерой автомата и достигала огромной яркости. Электродинамические силы, действующие на дугу и создаваемые протекающим в ней током, заставляли дугу двигаться со скоростью, доходившей до 200 м/сек.

Эта скорость движения дуги через неподвижный воздух способствует ее гашению, но одновременно с этим она приводит к возникновению звуковой волны, подобно появляющейся при взрыве. Выключение большого постоянного тока при напряжении до 500 В не требовало каких-либо специальных мер для гашения дуги. Дуга гасла и притом весьма быстро (в наших опытах 10—15 мсес), под действием собственного магнитного поля.

При проведении второй серии опытов порядок работы оставался таким же, как и в первой серии. Разница заключалась только в том, что генератор замыкался накоротко при частоте 16,6 Нз. Длительность процесса выключения равнялась длительности первого полупериода тока. При этих опытах удалось достигнуть тока 265 000 А при 500 В. Автомат надежно выключал такой ток. На рис. 4 приведена одна из полученных осциллограмм.

При токе 265 000 А электродинамические силы, действующие на дугу, достигали такой величины, что скорость движения дуги доходила до 300 м/сек. Благодаря этому гашение дуги происходило всегда надежно и дуга гасла во всех опытах при первом же прохождении тока через нуль. Сильно возрос звуковой эффект. Особое внимание привлекли электродинамические силы и индуктивные действия тока к. з. Приведем два примера.

Гибкие провода, подводившие ток к автомату, проходили около чугунной фундаментной плиты (рис. 5, а). При протекании по проводам тока из-за намагничивания железа возникала сила  $K$ , стремившаяся притянуть провод к плите. При токе 210 000 А один из четырех параллельных проводов ударился о ребро плиты с такой силой, что он расщекся.

На рис. 5, в схематически показан каркас из лезных уголков, поддерживающий кабельные муфты и шины, от которых шли гибкие провода автомату. Ток от одной из шин 1 уходил за плечом чертежа, а от двух других 2 — в сторону. У нижней части каркаса лежало два освинцованных кабеля с проводами управления. При протекании по шинам тока 265 000 А, имевшего скорость нарастания 25 МА/сек, возникший в свинцовой оболочке кабелей индукционный ток вызвал плавление оболочки на большой длине.

Самым важным вопросом, который был поставлен в результате проведенных испытаний, является вопрос о защите установок постоянного тока от разрушительного действия токов к. з. В настоящее время уже нельзя удовлетвориться только большой разрывной мощностью автоматического выключателя, его электродинамической и термической устойчивостью. Аппарат, обладающий такими свойствами, защитит от чрезмерных перегревов токов дущие части установки, но он оказывается в состоянии предотвратить разрушения, вызываемые огромными, как мы видим, электродинамическими силами или воспрепятствовать возникновению кругового огня на коллекторе машин постоянного тока. Для борьбы с этими явлениями автомат не должен допускать появления больших токов к. з. Он должен производить отключение раньше, чем ток, нарастая при к. з., достигнет установившегося значения. Автоматический выключатель должен в этом смысле ограничивать ток к. з.

Испытания показали, что при токе 90 000 А собственное время автомата A2080 составляет 20

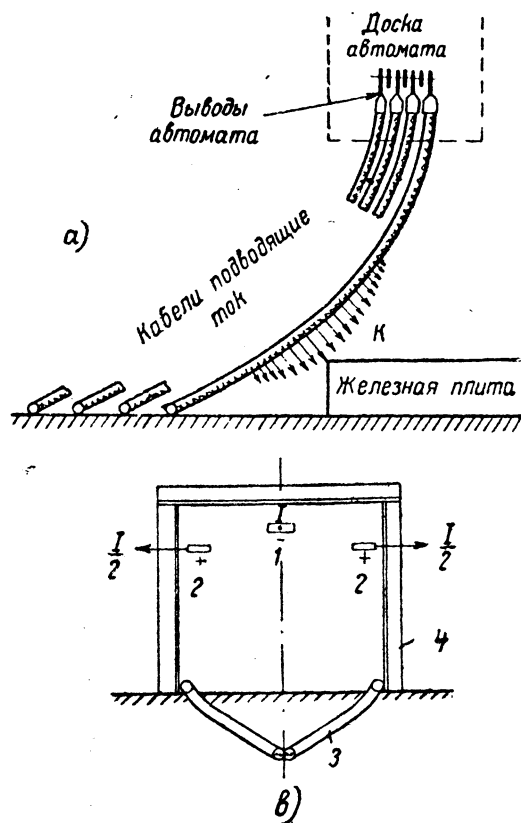


Рис. 5

а — схема сил, действующих между проводом и чугунной плитой в 1 — отрицательная шина; 2 — положительные параллельные шины (этих шин отводился в сторону); 3 — освинцованные кабели с сигналами; 4 — каркас из уголкового железа, поддерживающий ток

35 мсек, включая время горения дуги, полное время работы автомата около 40—50 мсек. При повышении тока до 200—260 000 А собственное время автомата снижается до 10—15 мсек. Полученные времена малы для обыкновенных автоматических выключателей и велики для выключателей быстродействующих, которые должны выключать ток к. з. раньше, чем он достигнет установившегося значения. Это обстоятельство привело к тому, что во всем диапазоне токов от 50 до 265 тыс. А, имевших место при наших испытаниях, не обнаружено ни одного случая, когда бы автомат А2080 ограничивал величину тока к. з. замыкания. При этом скорость нарастания тока менялась в пределах от 2,5 до 25 МА/сек. В связи с этим нет основания утверждать, что автомат А2080 защищает установки от разрушительного действия динамических сил при больших токах к. з. Так как продолжительность всего процесса отключения к. з. этим автоматом больше продолжительности распространения кругового огня по коллектору, то испытываемый автомат не может защитить машины постоянного тока от кругового огня.

Весьма важно сравнить работу автомата с работой в тех же условиях быстродействующих автоматов. Приводим некоторые результаты, полученные в условиях, идентичных с описанными выше и относящиеся к быстродействующим автоматам завода «Электросила» им. Кирова ВАБ-2000 А, БДА-3000 А. Оказалось, что эти автоматы при на-

пряжении от 500 до 1000 В имеют полное время отключения: БДА 3000 А — от 6 до 16 мсек, ВАБ 2000 А от 7 до 11 мсек.

Эти автоматы ограничивают ток к. з.

При максимальной полученной во время опытов скорости нарастания тока 25 МА/сек БДА не пропустил ток более 100 000 А, а ВАБ — более 42 000 А, тогда как амплитудное значение тока к. з. достигало 265 000 А. Ограничение тока к. з. быстродействующими автоматами влечет за собой: облегчение процесса отключения и значительное уменьшение звукового и светового эффекта; уменьшение электродинамических сил в частях аппаратов машин и проводов; защиту машин постоянного тока от кругового огня.

Все перечисленные обстоятельства привели авторов настоящей статьи к убеждению, что для защиты крупных промышленных установок постоянного тока электродинамического действия к. з. следует применять быстродействующие автоматы. Ряд весьма ответственных установок с токами к. з. в несколько сот тысяч ампер требуют автоматов подобного типа с номинальным током 6000, 8000 и 10 000 А. Необходимо форсировать разработку и постановку производства этих аппаратов.

В заключение необходимо отметить работу гг. А. Н. Капаницы, В. О. Войткуна, С. П. Кабони-на и В. Петрова, проводивших под руководством авторов описанные выше исследования.

## Однорелейные схемы дистанционной защиты

Г. И. АТАБЕКОВ

«Теплоэлектропроект»

До последнего времени дистанционная защита являлась одним из основных видов защиты сетей высокого напряжения. С развитием же высокочастотной защиты ей присваиваются преимущественно функции резервной защиты линий и борных шин. В результате этого схемы дистанционной защиты неминуемо должны упроститься.

Наряду с этим мыслима комбинация дистанционной защиты с высокочастотной (наподобие защиты фирмы Вестингауз). В этом случае также приходится ожидать изменения схемы присоединения дистанционных реле. Но даже и тогда, когда дистанционной защите отводится роль основной защиты линий, в ряде случаев возможно упрощение схем по сравнению с типовыми трехфазного выполнения, в частности, за счет применения однорелейных схем дистанционной защиты.

Переход к однорелейным схемам наиболее целесообразен в реактансной защите, где применение одного реактансного реле взамен шести (при защите от всех видов к. з.) дает значительный экономический эффект. Спорна целесообразность перехода к однорелейным схемам в импедансной защите, так как связанное с этим усложнение токовых цепей и добавление вспомогательных типов реле, например, промежуточных, либо получение схем, не обеспечивающих правильного замера омметра при всех видах повреждений, не окупаются сокращением количества импедансных реле (типа ИИ-120).

Исключение составляют схемы импедансной защиты шин, имеющие, как правило, однорелейное выполнение.

Однорелейные схемы дистанционной защиты могут быть разбиты на три категории: без переключений токовых цепей омметра, с переключениями их, и схемы с дешунтированием токовых цепей омметра.

Ниже приводится сравнительная оценка основных разновидностей однорелейных схем дистанционной защиты и указываются рекомендуемые схемы и области их применения.

**Схемы без переключений токовых цепей омметра.** К этой категории однорелейных схем относятся схемы рис. 1 и 2.

Схемы рис. 1 предназначены для защиты от замыканий между фазами. Омметр постоянно включен на разность линейных токов ( $I_A - I_C$ ) и, в зависимости от вида повреждения, к омметру подводится соответствующее междупазовое напряжение. Предполагается, что для защиты от замыканий на землю имеется отдельная защита (например защита максимального тока или максимальной мощности нулевой последовательности). Верхняя схема рис. 1 предназначается для импедансных реле (типа ИИ-120), нижняя — для реактансных (типа ИР-105).

Верхняя схема не может быть применена для реактансных реле типа ИР-105 ввиду отсутствия

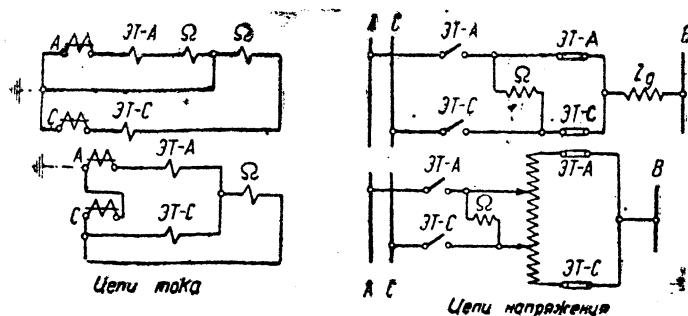


Рис. 1

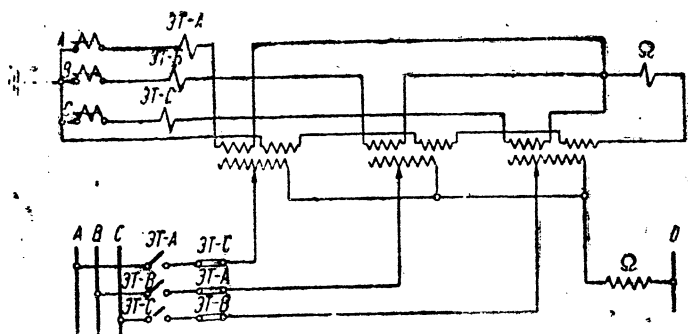


Рис. 2

второй токовой обмотки в импедансном пусковом органе ИР-105 и невозможности деления напряжения с помощью добавочного сопротивления  $Z_g$  (из-за расстройки контуров внутри ИР-105). Подведение к омметру половины междуфазового напряжения достигается в нижней схеме применением автотрансформатора напряжения.

Обе схемы рис. 1 предназначаются для защиты радиальных линий, на которых токи поврежденных фаз настолько превосходят по величине токи неповрежденных, что влиянием их на замер омметра можно пренебречь. Иначе говоря, например при замыканиях между фазами А и В, ток в омметре равен  $I_A - I_C \approx I_A$ .

В схемах рис. 1 при любом виде замыкания замер омметра будет  $Z_1$  и  $X_1$ .

При замыкании между тремя фазами или фазами С и А действуют реле ЭТ-А, ЭТ-С, ток омметра равен  $I_A - I_C$ , напряжение на клеммах его равно  $U_{AC}$ . При замыкании фаз А и В (или В и С) действует реле ЭТ-А (или ЭТ-С), ток омметра равен  $I_A$  (или  $-I_C$ ), напряжение  $0,5 U_{AB}$  (или  $0,5 U_{BC}$ ).

Основное преимущество схем рис. 1 заключается в их простоте и правильности замера омметра. Недостатки схем следующие: возможность влияния тока неповрежденной фазы при замыканиях между фазами А и В (или В и С) на замер омметра; неправильное действие защиты при замыканиях между двумя фазами на вторичной стороне силового трансформатора с соединением обмоток  $Y/\Delta$  (см. приложение), необходимость специального присоединения трансформаторов тока и автотрансформатора напряжения в случае реле ИР-105; возможность неправильного действия защиты при отказе одного из пусковых органов; сложность применения в качестве пусковых органов реле минимального импеданса, включенных на междуфазовые напряжения; непригодность нижней схемы в некоторых случаях по условиям термической

устойчивости токовых обмоток омметра; возможность увеличения погрешностей омметра из-за удвоения диапазона токов, протекающих в омметре при различных видах повреждений.

Схема рис. 2 предназначена для защиты от замыканий на землю, причем омметр постоянно включен на ток нулевой последовательности и, в зависимости от вида повреждения, к нему подводится соответствующее напряжение<sup>1</sup>. Предполагается, что для защиты от замыканий между фазами имеет отдельная защита (например импедансная).

Схема основана на компенсации напряжения и может быть применена при любой конфигурации сети.

Компенсация осуществляется путем введения в цепь обмотки напряжения э. д. с., равной

$$-(i - i_0) Z'_1 = -(i_1 + i_2) Z'_1,$$

где  $i$  — полный ток в поврежденной фазе;  $i_1$ ,  $i_0$  — симметричные составляющие тока поврежденной фазы;  $Z'_1$  — импеданс защищаемой зоны. Величины отнесены ко вторичной стороне трансформаторов тока.

Преимущество схемы — правильный замер омметра ( $\frac{Z'_0}{3}$ ,  $\frac{X'_0}{3}$ ) как при одностороннем, так и при двухстороннем питании. При повреждениях в защищаемой зоне замер получается преувеличенным.

При любом виде повреждения ток омметра равен  $3 I_0$ . При замыкании на землю фаз А, В или С действуют соответственно реле ЭТ-А, ЭТ-В или ЭТ-С. Напряжение на клеммах омметра при замыкании фазы А будет  $U_A - (I_{A1} + I_{A2}) Z'_1$ , при замыкании двух других фаз имеют место аналогичные выражения.

В случае двухфазного замыкания на землю фаз: А и В, В и С или С и А действуют реле ЭТ-В; ЭТ-В; ЭТ-С; ЭТ-С; ЭТ-А. Напряжения на омметре будут те же, что и в соответствующих

<sup>1</sup> В схеме рис. 2, так же как и в следующих схемах пусковой орган условно показан максимально-токовым типа (ЭТ).

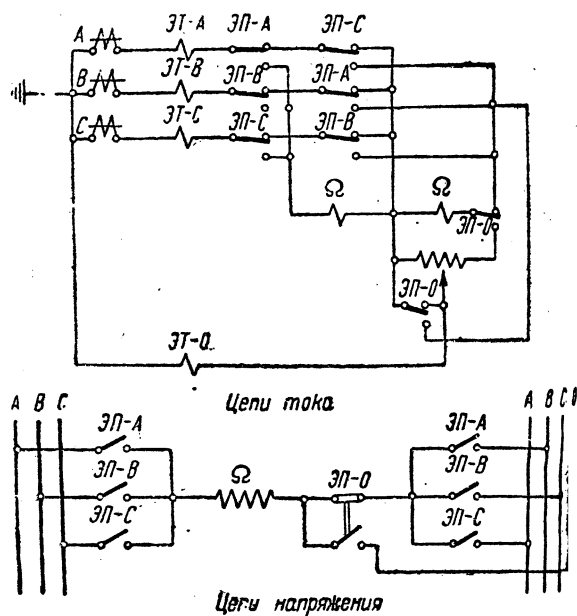


Рис. 3

Таблица 1

Замеры омметра по схеме рис. 3

Вид повреждения	Действуют реле		Ток в обмотках омметра	Напряжение на клеммах омметра	Замер на клеммах омметра	
	в цепях тока	в цепях напряжений			импеданс	реактанс
Замыкание между 3 фазами . . . . .	ЭП-А	ЭП-А	$i_A - i_B$	$\dot{U}_{AB}$	$Z_1$	$X_1$
Замыкание между 2 фазами:						
AB . . . . .	ЭП-А	ЭП-А	$i_A - i_B$	$\dot{U}_{AB}$		
BC . . . . .	ЭП-В	ЭП-В	$i_B - i_C$	$\dot{U}_{BC}$		
CA . . . . .	ЭП-С	ЭП-С	$i_C - i_A$	$\dot{U}_{CA}$		
Замыкание на землю фаз:						
А или АВ . . . . .	ЭП-А, ЭП-0	ЭП-А, ЭП-0	$i_A + \kappa \dot{I}_0$	$\dot{U}_A$		
В или ВС . . . . .	ЭП-В, ЭП-0	ЭП-В, ЭП-0	$i_B + \kappa \dot{I}_0$	$\dot{U}_B$		
С или СА . . . . .	ЭП-С, ЭП-0	ЭП-С, ЭП-0	$i_C + \kappa \dot{I}_0$	$\dot{U}_C$		

Таблица 2

Виды повреждения	Действуют реле		Ток в обмотках омметра	Напряжение на клеммах омметра	Замер на клеммах омметра	
	в цепях тока	в цепях напряжений			импеданс	реактанс
Замыкание между 3 фазами	ЭП-2 ЭП-1, ЭП-2	ЭТ-А, ЭТ-С	$-i_C$ $i_A - i_C$	$\dot{U}_{AC}$	$1,73 Z_1$ $Z_1$	$1,5 X_1 + 0,87 r_1$ $X_1$
Замыкание между 2 фазами	AB	ЭП-1 ЭП-1, ЭП-3	$i_A$ $2i_A$	$\dot{U}_{AB}$	$2Z_1$ $Z_1$	$2X_1$ $X_1$
	BC	ЭП-2 ЭП-2, ЭП-3	$-i_C$ $-2i_C$	$\dot{U}_{BC}$		
	CA	ЭП-2 ЭП-1, ЭП-2	$-i_C$ $i_A - i_C$	$\dot{U}_{AC}$		

случаях однофазных замыканий [например, замыкание фаз А и В:

$$\dot{U}_A (-I_{A1} + I_{A2}) Z_1].$$

К числу недостатков схемы относятся: необходимость применения специальных трансформаторов тока для компенсации напряжения; непригодность ее для реле с плавновозрастающей характеристикой.

Схемы с переключением токовых цепей омметра. К этой категории относится схема рис. 3 (разработанная инж. А. М. Бреслером применительно к реле ИР-105 аналогично схеме Сименса). В зависимости от вида повреждения омметр включается либо на разность линейных токов при замыканиях между фазами, либо по схеме с токовой компенсацией при замыканиях на землю (см. табл. 1). Переключение токовых цепей производится при помощи промежуточных реле.

Недостатки схемы — сложность ее и потребность в специальных промежуточных реле для переключения цепей тока без разрыва, которые в номенклатуре ХЭМЗ в данное время отсутствуют и делают систему ненадежной.

Схемы с дешунтированием токовых цепей омметра. К этой категории относятся схемы рис. 4 и 5, разработанные на основе предложенного автором принципа<sup>2</sup>.

На рис. 4 показаны два варианта схемы реле. Вариант II отличается цепью тока (пунктир). Схемы предназначаются для защиты от замыканий между фазами и основаны на том, что нормально токовая обмотка омметра зашунтирована контактами промежуточных реле ЭП-1 и ЭП-2, при размыкании которых омметр оказывается под током.

Действие обеих схем видно из табл. 2. В таблице величины в верхней строке относятся только к варианту I, в нижней — к варианту II.

Как видно из табл. 2, вариант II имеет то преимущество по сравнению с I, что дает одинаковый замер при всех видах повреждений. Достигается это тем, что в одном случае омметр обтекает разностью токов поврежденных фаз, а в другом — последовательно через обе токовые обмотки омметра протекает ток одной из поврежденных фаз (поэтому в этом случае в таблице даны удвоенные значения токов).

<sup>2</sup> См. статью автора «Упрощение схем защиты с помощью дешунтирования токовых цепей», журн. «Электрические станции» № 10—11, 1939.

Преимущество схем рис. 4 — их относительная простота. К числу недостатков этих схем относится возможность неправильного действия защиты при замыканиях между двумя фазами на вторичной стороне силового трансформатора с соединением обмоток Y/Δ. Как видно из приложения, замеры омметра для варианта I получаются лучше, чем для схемы рис. 1. Тем не менее, во избежание неправильного действия защиты в одном из разобранных в приложении случаев, в схеме должен быть предусмотрен добавочный пусковой орган, реагирующий на разность токов (например, реле типа ЭТ-63/6 Р).

Две схемы рис. 5 также различаются цепями тока. Они предназначаются для защиты от замыканий между фазами и на землю, причем схема I применима в случае радиальных линий (с односто-

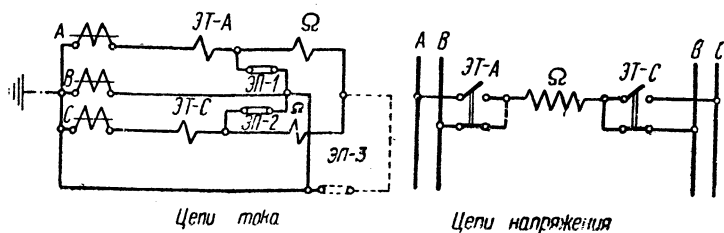


Рис. 4

ных однорелейных схем дистанционной защиты можно дать следующие рекомендации:

Для защиты радиальных линий от замыканий между фазами целесообразно применять верхнюю схему рис. 1 при импедансной защите, нижнюю схему рис. 1 и схему рис. 4 при реактансной защите.

Для защиты радиальных линий от замыканий между фазами и на землю при реактансной защите целесообразна схема 1 рис. 5.

Таблица 3

Вид повреждения	Действуют реле		Ток в обмотках омметра	Напряжение на клеммах омметра	Замер на клеммах омметра	
	в цепях тока	в цепях напряжений			импеданс	реактанс
Замыкание между 3 фазами	ЭП-2, ЭП-3, ЭП-4 ЭП-В, ЭП-С, ЭП-4	ЭП-4	$i_A$ $i_A - i_B$	$\dot{U}_{AB}$	$1,73 Z_1$	$\frac{1,73}{0,87} X_1$
Замыкание между 2 фазами	AB ЭП-2, ЭП-3, ЭП-4 ЭП-В, ЭП-С, ЭП-4	ЭП-4	$i_A$ $i_A - i_B$	$\dot{U}_{AB}$	$2 Z_1$	$Z_1$
	BC ЭП-1, ЭП-3, ЭП-5 ЭП-А, ЭП-С, ЭП-4	ЭП-5	$i_B$ $i_B - i_C$	$\dot{U}_{BC}$		
	CA ЭП-1, ЭП-2, ЭП-6 ЭП-А, ЭП-В, ЭП-4	ЭП-6	$i_C$ $i_C - i_A$	$\dot{U}_{CA}$		
Замыкание фаз на землю	А или АВ ЭП-2, ЭП-3, ЭП-4 ЭП-А, ЭП-С, ЭП-0	ЭП-4 ЭП-0	$i_A$ $i_A + \kappa 3I_0$	$\dot{U}_A$	$1,83 Z_1$	$Z_1$
	В или ВС ЭП-1, ЭП-3, ЭП-5 ЭП-А, ЭП-С, ЭП-0	ЭП-5, ЭП-0	$i_B$ $i_B + \kappa 3I_0$	$\dot{U}_B$		
	С или СА ЭП-1, ЭП-2, ЭП-6 ЭП-А, ЭП-В, ЭП-0	ЭП-6, ЭП-0	$i_C$ $i_C + \kappa 3I_0$	$\dot{U}_C$		

Соотношение сопротивлений нулевой и положительной последовательностей принято равным:  $\frac{Z_0}{Z_1} \approx \frac{X_0}{X_1} \approx 3,5$ .

ровным питанием), схема II — при любой конфигурации сети.

Действие схемы понятно из табл. 3. Величины в верхней строке относятся только к схеме I, в нижней только к схеме II.

Как видно из табл. 3, схема II более совершенна, однако она относительно сложнее схемы I.

Достоинство схем, основанных на дешунтировании токовых обмоток омметра, заключается в отсутствии потребности в специальных промежуточных реле для переключения цепей тока без разрыва.

Следует отметить, что принцип дешунтирования токовых цепей, положенный в основу описанных выше однорелейных схем дистанционной защиты, может быть также применен в схемах, имеющих двух- и трехрелейное исполнение.

Рекомендуемые схемы и области их применения. На основании приведенного выше анализа различ-

Для защиты линий с двухсторонним питанием при реактансной защите рекомендуется схема рис. 5.

При импедансной защите применение однорелейных схем в последнем случае при существующих типах реле ХЭМЗ нецелесообразно.

Приложение. На рис. 6 дана расчетная схема для случая замыкания между 2 фазами на вторичной стороне силового трансформатора с соединением обмоток Y/Δ — 11. Пользуясь методом симметричных составляющих, можно получить следующие выражения для замеров импедансов и реактансов на клеммах омметра (без учета нагрузки).

Схемы рис. 1. При замыкании между фазами A и B ввиду равенства токов фаз A и C ток на клеммах омметра равен бесконечности, а реактанс имеет неопределенное значение. При этом благодаря наличию импедансного пускового органа ИР-105, включенного в нижнюю схему на



$j_c$  (равный в данном случае нулю), реактанса защиты не действует.

При замыкании между фазами  $b$  и  $c$  через переходное сопротивление  $R$  и отказе в действии токового пускового органа фазы  $A$  (ввиду того что ток фазы  $C$  вдвое больше тока в фазе  $A$ ):

$$Z_p = \frac{Z_1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{6} Z_{k2} + \frac{R}{4} - j \frac{\sqrt{3}}{12} R; \quad (1)$$

$$X_p = \frac{X_1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{6} \left( r_{k2} + \frac{R}{2} \right). \quad (2)$$

Таким образом замер реактанса получается преуменьшенным по сравнению с сопротивлением участка: реле — место к. з. При действии обоих пусковых органов замер получается преувеличенным.

При замыкании между фазами  $c$  и  $a$  и действии обоих токовых пусковых органов в фазах  $A$  и  $C$ :

$$Z_p = Z_1 - j \frac{\sqrt{3}}{3} Z_{k2} + \frac{R}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{6} R; \quad (3)$$

$$X_p = X_1 - \frac{\sqrt{3}}{3} \left( r_{k2} + \frac{R}{2} \right), \quad (4)$$

т. е. в 2 раза больше, чем в предыдущем случае.

**Вариант I, рис. 4.** При замыкании между фазами  $a$  и  $b$  и действии обоих пусковых органов:

$$Z_p = j2\sqrt{3} Z_{k2} + j\sqrt{3} R; \quad (5)$$

$$X_p = 2\sqrt{3} \left( r_{k2} + \frac{R}{2} \right). \quad (6)$$

Как видно, величина замера реактанса на клеммах реле зависит от значения переходного сопротивления в месте повреждения и при  $R=0$  замер получается сильно преуменьшенным.

При замыкании между фазами  $b$  и  $c$  и отказе

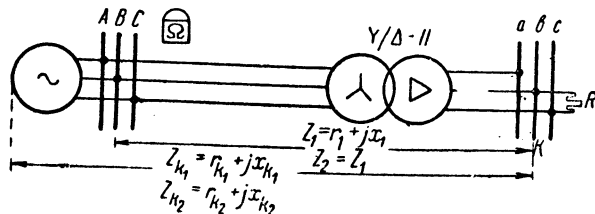


Рис. 6

в действии пускового органа фазы  $A$ :

$$Z_p = \frac{3}{2} Z_1 - j \frac{\sqrt{3}}{2} Z_{k2} + \frac{3}{4} R - j \frac{\sqrt{3}}{4} R; \quad (7)$$

$$X_p = \frac{3}{2} X_1 - \frac{\sqrt{3}}{2} \left( r_{k2} + \frac{R}{2} \right), \quad (8)$$

т. е. возможен преуменьшенный замер реактанса. Однако выражение (8) дает по сравнению с (2) величины, в 3 раза большие.

Но соотношение реактансов в варианте I и нижней схемы рис. 1 при замыканиях между тремя фазами составляет 2:1, и в конечном итоге выражение (8) дает преувеличение по сравнению с (2) в 1,5 раза.

При замыкании между фазами  $c$  и  $a$  и действии обоих токовых пусковых органов в фазах  $A$  и  $C$ :

$$Z_p = 3Z_1 - j\sqrt{3} Z_{k2} + \frac{3}{2} R - j \frac{\sqrt{3}}{2} R; \quad (9)$$

$$X_p = 3X_1 - \sqrt{3} \left( r_{k2} + \frac{R}{2} \right). \quad (10)$$

**Вариант II рис. 4.** При действии обоих пусковых органов замеры на клеммах омметра те же, что и в схемах рис. 1, а при действии только одного из пусковых органов — вдвое меньше, чем в варианте I.

# ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВЕ

## Заземления в шахтных электросетях\*

Л. В. ГЛАДИЛИН

Московский горный институт им. Сталина

**Вопрос** о заземлениях в сетях низкого напряжения за последние годы неоднократно поднимался на страницах периодической печати. Однако даже в отношении таких основных деталей этого вопроса, как система заземления нейтрали понизительных трансформаторов или как определение расчетного тока замыкания на землю до настоящего времени не существует единого мнения.

Шахтные электроустановки имеют некоторые особенности, определяющие выполнение мероприятий защиты от поражения электрическим током. Для них характерна относительно большая вероятность поражения электрическим током, обусловленная постоянной сыростью, наличием в ряде случаев проводящей пыли, необходимостью по условиям работы длительно соприкасаться с корпусами электрифицированных машин-орудий, а также высокой вероятностью повреждения изоляции.

Отсутствие в этих установках открытых токоведущих частей (шахтная сеть выполняется кабелем, аппараты и трансформаторы заключены в металлические заземленные оболочки) практически сводят к нулю вероятность прикосновения к частям установки, нормально находящимся под напряжением.

Наконец, в шахтных установках имеется возможность обеспечить устройство надежных заземлителей с низким переходным сопротивлением только в местах постоянного скопления воды (помойнице, зумпфах и отчасти сточных канавках). При таком принципе заземления необходимо объединить установки высокого и низкого напряжений общей заземляющей сетью с опорными заземлителями в районе рудничного двора.

Согласно указаниям ряда советских и иностранных авторов, сопротивление человека в условиях шахты колеблется, примерно, в пределах от 600—800 Ом. Поэтому максимально допустимой величиной напряжения прикосновения для шахтных элект-

\* В порядке обсуждения. Рел.

троустановок следует считать 40 V. Это значение можно считать достаточным с точки зрения безопасности, так как в мировой литературе нет указаний на несчастные случаи со смертельным исходом при 40 V.

Допустимый потенциал на заземляющей системе принимается в дальнейшем равным допустимому напряжению прикосновения, поскольку величина коэффициента напряжения прикосновения ввиду возможности появления воды весьма близка к единице.

Учитывая высокую вероятность поражения током в шахтах, следует считать, что защита в этом случае должна базироваться на защитных мероприятиях, направленных к снижению величины напряжения прикосновения при наличии в сети рабочего напряжения (защитные заземления и равноценные им мероприятия). Способы же защиты, которым свойственна известная инерционность действия (отключение рабочего напряжения), допустимы только в качестве дублирующих.

Одновременно необходимо подчеркнуть, что наличие общей заземляющей сети с опорными заземлителями в районе рудничного двора делает непрерывность сети заземления одним из основных условий безопасности для шахтных установок.

Сравнение систем с заземленной и с изолированной нейтралью. В целях обобщения задачи предполагается, что нейтраль трансформатора заземлена через некоторое сопротивление  $Z_N$  (рис. 1), причем цепь тока при повреждении изоляции на одной из фаз замыкается отчасти через заземление нейтрали,

отчасти же через несовершенную изоляцию токоведущих фаз и емкость, существующую между фазами и землей.

Сопротивление заземляющего устройства принято чисто активным. Сопротивление токоведущей жилы до точки приложения равнодействующей токов утечки обозначается буквой  $Z_L$ , сопротивление токоведущей жилы от точки приложения равнодействующей до точки замыкания на землю буквы  $Z$  полные сопротивления отдельных фаз по отношению к земле:  $Z_1$ ,  $Z_s$  и  $Z_R$ . Сопротивление обмотки фазы трансформатора обозначается  $Z_G$ .

На основе законов Кирхгофа для схемы рис. 1 можно написать следующую систему уравнений:

$$\dot{E}_T = i_T(Z_G + Z_L + Z_T) + i_N Z_N;$$

$$\dot{E}_S = i_S(Z_G + Z_L + Z_S) + i_N Z_N;$$

$$\dot{E}_R = i_R(Z_G + Z_L + Z_R) + i_N Z_N - i_E Z_R;$$

$$0 = i_E(R_E + Z_e) - (i_R - i_E) Z_R;$$

$$i_N = i_T + i_S + i_R.$$

Для упрощения конечных формул вводят обозначения:

$$Z_{T0} = Z_G + Z_L + Z_T;$$

$$Z_{S0} = Z_G + Z_L + Z_S;$$

$$Z_{R0} = Z_G + Z_L + Z_R.$$

Совместное решение системы уравнений с введением указанных выше обозначений дает следующую формулу:

$$i_E = Z_R \frac{Z_N [Z_{S0}(\dot{E}_R - \dot{E}_T) + Z_{T0}(\dot{E}_R - \dot{E}_S)] + Z_{T0} Z_{S0} \dot{E}_R}{Z_N \{(R_E + Z_e)(Z_{T0} Z_{R0} + Z_{S0} Z_{R0} + Z_{T0} Z_{S0}) + Z_R [Z_{T0} Z_{S0} + (Z_G + Z_L)(Z_{T0} + Z_{S0})]\} + Z_{T0} Z_{S0} [Z_{R0}(R_E + Z_e) + Z_R(Z_{T0} + Z_{S0})]}.$$

Когда нейтраль заземлена наглухо,  $Z_N = 0$  и  $i_E = \frac{\dot{E}_R Z_R}{Z_{R0}(R_E + Z_e) + Z_R(Z_G + Z_L)}.$

При изолированной нейтрали  $Z_N \rightarrow \infty$ ,

$$i_E = \frac{[Z_{S0}(\dot{E}_R - \dot{E}_T) + Z_{T0}(\dot{E}_R - \dot{E}_S)] Z_R}{(R_E + Z_e)(Z_{T0} Z_{R0} + Z_{S0} Z_{R0} + Z_{T0} Z_{S0}) + Z_R [Z_{T0} Z_{S0} + (Z_G + Z_L)(Z_{T0} + Z_{S0})]}.$$

Условием одинаковой опасности систем с наглухо заземленной и с изолированной нейтралью является равенство токов замыкания на землю в обоих случаях.

При одинаковом сопротивлении фаз  $T$  и  $S$ ,  $Z_T = Z_S = Z_{TS}$ , сопоставление правых частей (1) и (2) позволяет получить такую математическую формулировку условия равной безопасности:

$$Z_{TS} = \frac{1}{\frac{1}{Z_R} + \frac{1}{R_E + Z_e}}.$$

Другими словами, система с заземленной нейтралью опаснее системы с изолированной нейтралью, если сопротивление изоляции фазы  $R$ , в которой произошло замыкание на землю, равно или меньше сопротивления изоляции каждой из двух других фаз.

Это соотношение показывает, что естественно считать систему с изолированной нейтралью в от-

ношении однофазных замыканий на землю условно менее опасной, чем систему с заземленной нейтралью.

Система с изолированной нейтралью опаснее системы с заземленной нейтралью только при однофазном замыкании на землю.

При сопоставлении систем с заземленной и с изолированной нейтралью серьезную роль играет вопрос о пределе защитного действия заземления под которым в дальнейшем подразумевается ток замыкания на землю  $I_E$ , обуславливающий появление максимально допустимого напряжения прикосновения. Предел защитного действия заземления может быть найден по максимально допустимому напряжению прикосновения  $U$  и сопротивлению заземляющего устройства  $R_E$ . При постепенно развивающемся повреждении ток замыкания на землю  $I_E$  растет по мере снижения сопротивления фазы по отношению к защитному заземлению в месте повреждения  $R_f$  по закону, изображенному кривой рис.

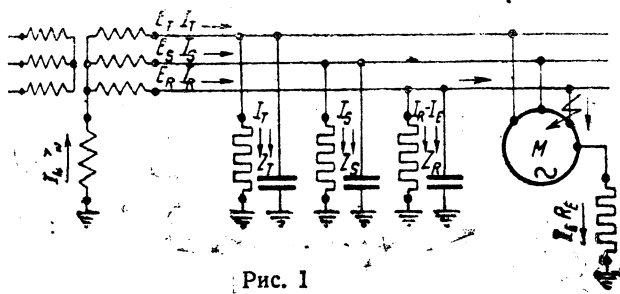


Рис. 1

для системы с заземленной нейтралью и кривой рис. 3 для системы с изолированной нейтралью. Во второй системе условно предполагается, что повреждение на второй фазе начинает развиваться только после достижения металлического замыкания на первой фазе.

При практически достижимых сопротивлениях заземляющего устройства предел защитного действия заземления, как показывает исследование, в обоих случаях лежит ниже максимально возможной силы тока замыкания на землю. Эти выводы действительны не только для шахтной, но и для любой другой электрической сети.

Из рассмотрения рис. 2 и рис. 3 следует, что:

1. При системе с заземленной нейтралью известная область повреждений, примыкающих к металлическому замыканию на землю, остается не защищенной.

Поэтому в условиях шахт систему с заземленной нейтралью следует считать недопустимой даже при применении отключающих приспособлений, поскольку при металлическом замыкании на землю защитные отключающие приспособления являются единственной и притом недостаточно надежной мерой защиты.

2. Единственной системой, обеспечивающей действительную безопасность в шахтных условиях, является система с изолированной нейтралью, при условии применения отключающих приспособлений, производящих отключение при однофазном замыкании и тем самым только дублирующих защитное действие заземления.

При наличии сигнализации об однофазных замыканиях на землю и надлежаще поставленной электротехнической службе в крайнем случае может быть допущено применение в системе с изолированной нейтралью отключающих приспособлений, реагирующих только на двойное замыкание на землю.

Проблема реле заземления для системы с изолированной нейтралью. Идеальные защитные мероприятия, базирующиеся на отключающих приспособлениях, должны удовлетворять следующим требованиям: отключение при потенциале на заземляющем устройстве, не превышающем допустимого напряжения прикосновения; выдержка времени отключающего устройства, не превышающая 0,1 сек; обеспечение наибольшей надежности безотказной работы; предельно возможная простота устройства.

Анализ целесообразности применения для защиты от замыканий на землю отключающих приспособлений имеет смысл только в отношении отключающих приспособлений, реагирующих на силу тока и на сопротивление нулевой последовательности. Только что сформулированным требованиямprin-

ципально удовлетворяют лишь специальные реле заземления, включенные непосредственно в рассечку заземляющей сети. При применении названных реле необходимо иметь в виду, что сопротивление реле и ток трогания должны быть выбраны таким образом, чтобы предел защитного действия заземления (с учетом сопротивления реле) был расположен в зоне двойных замыканий, величина же тока трогания находилась бы в зоне однофазных замыканий (рис. 3).

Верхний предел допустимого суммарного сопротивления защитного заземления и обмотки реле должен определяться для самого тяжелого практически возможного случая: однофазное замыкание на землю при одновременном пробое изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений понизительного трансформатора. Величина этого суммарного сопротивления может быть определена из формулы для величины напряжения прикосновения при однофазном замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью:

$$R_E \leq \frac{X}{3 \sqrt{\left(\frac{E}{\sqrt{3} U}\right)^2 - 1}}, \quad (3)$$

где  $E$  — линейное значение э. д. с.;  $X$  — сопротивление фазы по отношению к земле (для кабельных сетей значение имеет только емкостное сопротивление).

Сопротивления изоляции фазы по отношению к земле не опускаются, обычно ниже 1500—2000  $\Omega$ . Следовательно,  $R_E$  не должно превосходить 11 ÷ 15  $\Omega$  при высшем напряжении 3000 В и 5,5 ÷ 7,5  $\Omega$  при 6000 В.

Отсюда следует, что при сопротивлении общей сети заземления 2  $\Omega$  (наименьшее практически достижимое сопротивление сети заземления в шах-

ных условиях) сопротивление обмотки реле заземления не должно превышать 9 ÷ 13  $\Omega$  при 3000 В и 3,5 ÷ 5,5  $\Omega$  при 6000 В.

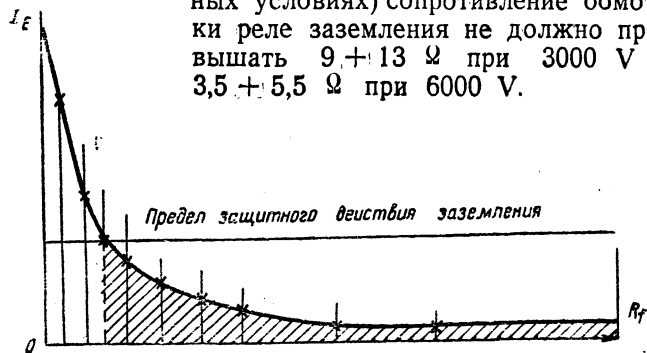


Рис. 2

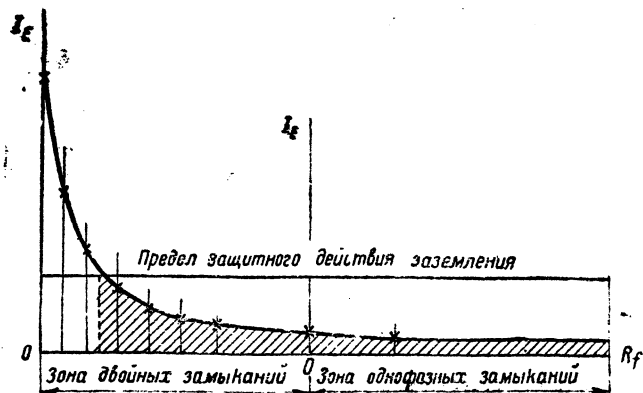


Рис. 3

$E \text{ В}$	133	230	400	525	3150	6300
Верхний предел тока трогания $A$ . . . . .	$0,13 \pm 0,10$	$0,25 \pm 0,19$	$0,45 \pm 0,34$	$0,60 \pm 0,45$	$3,6 - 2,7$	$7,2 \pm 5,7$

Верхний предел тока трогания реле заземления должен определяться по току однофазного замыкания на землю при отсутствии электрического соединения между обмотками высшего и низшего напряжений трансформатора. В самом неблагоприятном случае ток трогания, в соответствии с формулой (3), исходя из сопротивления изоляции фазы  $1500 \div 2000 \text{ }\Omega$  и максимально допустимого напряжения прикосновения  $40 \text{ В}$ , не должен превосходить величин, указанных в таблице.

Следует отметить, что описанные в литературе реле заземления, предназначенные для включения непосредственно в сеть заземления, не удовлетворяют поставленным выше требованиям (таковы, например, реле типа  $RWE^1$  и реле, предложенное С. В. Соколовым<sup>2</sup>). Между тем ХЭМЗ имеет в своем ассортименте простое по конструкции реле типа ЭТ, характеристика которого весьма близка к требуемой. Реле типа ЭТ-71-0,25 и ЭТ-72/0,25 имеют ток трогания порядка  $0,12 - 0,25 \text{ А}$  при сопротивлении обмотки порядка  $7 \text{ }\Omega$ .

Это говорит о том, что при соответствующем учете всех особенностей работы вполне вероятно создание реле, удовлетворяющего поставленным выше требованиям.

Рассмотрим отключающие приспособления, реагирующие на сопротивление нулевой последовательности.

Напряжение прикосновения при неполном однофазном замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью

$$U = \frac{E R_E}{\sqrt{3} \sqrt{\frac{X^2}{9} + (R_E + R_f)^2}}, \quad (4)$$

где  $R_f$  — сопротивление фазы по отношению к земле в точке повреждения.

Из формулы (4) следует, что это напряжение растет одновременно с сопротивлением  $R_E$ , а также с уменьшением сопротивления  $R_f$ .

Применение реле, реагирующих на изменение

<sup>1</sup> Oscar Löbl, „Erdung Nullung und Schutzschaltung“, 1933.

<sup>2</sup> „Электричество“ № 5, 1937.

в опасную сторону перечисленных сопротивлений принципиально может служить решением задачи защиты от замыкания на землю. Необходимо, однако, отметить, что контроль сопротивлений практически возможен только в отношении сопротивлений  $R_E$  и  $R_f$  и притом при применении постороннего источника тока с постоянным напряжением.

До последнего времени проверка сопротивлений сети заземления, или, вернее, ее непрерывность осуществлялась лишь в отношении заземляющих жил гибких кабелей путем включения их в цепь тока нулевой катушки при аппаратах с ручным управлением или в цепь тока кнопки «стоп» при дистанционном пуске. Проверка состояния изоляции сети  $R_f$  впервые была предложена Всесоюзным угольным научно-исследовательским институтом (ВУГИ) и осуществлена в пускателях типа ПМВ выпускаемых ХЭМЗ.

Проведенный анализ характеристик реле заземлений, реагирующих на ток и сопротивление нулевой последовательности, заставляет сделать вывод, что ни один из типов реле заземления, удовлетворяет полностью поставленным требованиям.

Решение задачи необходимо искать по линии комбинированного применения реле различных типов. Наиболее удачной комбинацией является совместное применение реле, реагирующих на нулевую последовательности (обеспечивает селективность), и реле, реагирующего на сопротивление заземляющего устройства по отношению к земле (контролирует непрерывность сети заземления).

Окончательное решение в отношении выбора защиты от замыканий на землю и основных параметров этой защиты может быть произведено, как это следует из формулы (3), только после накопления достаточного материала в отношении сопротивления изоляции существующих шахтных сетей и характера развития повреждений.

Ближайшей задачей по разрешению проблемы защиты от поражения электрическим током в шахтных условиях является постановка экспериментальных работ по изучению сопротивления изоляции существующих шахтных сетей.

**ГОСЭНЕРГОИЗДАТ** МОСКВА, проезд Владимира, 4

В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ ВЫЙДЕТ ИЗ ПЕЧАТИ КНИГА:

**„ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ“**

**===== обязательны для электростанций и сетей всех ведомств =====**

ОСНОВАНИЕ: Постановление Экономсовета при СНК Союза ССР № 451 от 26/III — 40 г.

Цена **5** руб. в переплете

# ВОПРОСЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

## О стандартах электротехнических и некоторых других

А. В. ТРАМБИЦКИЙ

Завод «Электрик», Ленинград

СТАНДАРТЫ — это законы, это документы огромной важности, являющиеся могучим средством технического прогресса.

Однако если просмотреть подряд содержание «Электроэнергетики» — Сборника общесоюзных стандартов, изд. ОНТИ НКТП, 1936 г., то нетрудно прийти к выводу, что, собственно говоря, вся стандартизация в этой области в настоящее время никакой системы не имеет. Вовсе не соблюдается единство в отношении терминологии, структуры, содержания и оформления. Поэтому упомянутый сборник имеет вид случайно собранного материала, объединенного только одним переплетом. Для ряда стандартов отсутствует «увязка» с действующими стандартами ближайших соседних областей, отсутствуют указания на взаимную подчиненность и соподчиненность стандартов. Обширные категории электрооборудования вообще не охвачены никакими стандартами.

Иллюстрацией неблагополучия в системе электротехнических стандартов является форма и содержание одного из последних стандартов — ГОСТ 20020 на электрические машины, составленного и изданного тщательнее многих иных. Очевидно, из-за устарелости Правил и норм IX ВЭС составителям ГОСТ 20020 пришлось включить в последний определения огромного числа терминов и понятий. Появление некоторых определений можно только приветствовать. Например, очень хорошо, что, наконец, получил точное определение и таким образом «узаконился» термин «стандартная рабочая температура» (для обмоток  $\pm 75^\circ$ ); но большинство терминов «пришлось включить», так как с «отмиранием» Правил и норм IX ВЭС большинство электротехнических терминов нигде и ничем больше не определяется.

Однако в то же время очевидно, что такие термины, как нагрузка, перегрузка, режимы работы, классы изоляции и прочее, относятся одинаково ко всякому электрооборудованию, а потому им место во «Всесоюзных электротехнических правилах и нормах». В развитие этих последних должны уже составляться стандарты на отдельные категории электрооборудования, как-то (рис. 1): I — машины постоянного тока, II — машины асинхронные, III — трансформаторы масляные, IV — трансформаторы воздушные, V — кабели силовые и т. д. Это было бы наиболее простой и экономной системой стандартизации; давно пора приступить к ее созданию.

Между тем структура последнего из появившихся электротехнических стандартов (ГОСТ 20020 на электрические машины) указывает на то, что, повидимому, создается, или может создаваться, система

«групповых» стандартов (рис. 2). По примеру машин и трансформаторов можно мыслить себе общие стандарты на все кабели вообще, на все выключатели вообще и т. д. (ибо почему же для них делать исключение?). Однако общие нормы будут при этом попрежнему отсутствовать.

Такую систему никак нельзя признать «экономной»; надо иметь в виду, что на создание и обсуждение каждого стандарта тратится работа целого коллектива специалистов на заседаниях в течение ряда месяцев. Но эта система нерациональна и в других отношениях. Групповые стандарты (рис. 2) будут поневоле содержать огромное число повторений; как создаваемые разными лицами и различными организациями, они с трудом будут поддаваться согласованию между собой, что мы видим и сейчас во всех наших стандартах. В результате — масса труда будет затрачена даром, чего можно избежать, приняв систему по рис. 1.

Особенно показательным это является в отношении трансформаторов. В настоящее время имеется только ГОСТ 2524 на трансформаторы силовые масляные. Огромное число других трансформаторов — с воздушным охлаждением (для нагревательных печей, для контактной сварки и пр.) не охвачено никакими стандартами. Весьма значительное число трансформаторов для дуговой сварки хотя и охвачено (устаревшим) ГОСТ 8855, но лишь в отношении специальных требований; в отношении же общих требований и определений имеет место полная неясность; ни нормы IX ВЭС, ни ГОСТ 2524, относящийся к трансформаторам масляным, ни



Рис. 1

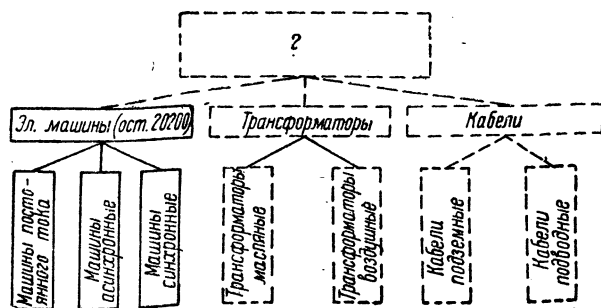


Рис. 2



ОСТ 20020, относящийся к электрическим машинам, не являются применимыми.

Между тем новые температурные нормы ОСТ 20020, примененные к трансформаторам, дали бы возможность получить экономию в 7—10% активных материалов. Поэтому, автором этих строк, по поручению завода «Электрик», разработан и проведен (с мая по октябрь 1939 г.) через три последовательных редакции стандарт на трансформаторы с воздушным охлаждением. В развитие этого стандарта должны быть разработаны стандарты на отдельные категории трансформаторов, как-то: для дуговой сварки (взамен ОСТ 8855), для аппаратов контактной сварки (аналогично американскому стандарту Standart for Resistance Welding Apparatus, ASA, C 52,2, 1933).

Таким образом новый стандарт должен сыграть такую же роль в отношении всех трансформаторов (кроме масляных), какую играет ОСТ 20020 относительно всех электрических машин. Правда, этим как бы узаконивается (временно) система групповых стандартов по рис. 2, против которой приведено выше столько возражений, но на это приходится идти, как на временную меру.

Никоим образом не следует создавать общего стандарта на все вообще трансформаторы. Этим не только упрочивалась бы чрезвычайно громоздкая и запутанная система, но чрезвычайно отсрочивалось бы решение всего вопроса о стандартизации в области трансформаторов, ибо все равно сразу пришлось бы создавать кроме этого общего стандарта еще отдельные стандарты на трансформаторы масляные и трансформаторы с воздушным охлаждением (сухие).

Нужно немедленно приступить к созданию Общесоюзных электротехнических правил и норм.

Переходя к содержанию стандартов, приходится прежде всего указать на «неувязку», получившуюся с ОСТ/ВКС 5578 и 6052. Первым из них на «Абсолютные магнитные единицы электромагнитной системы» (внесен ВИМС, утвержден в 1933 г.) введена (плохо или хорошо) для величины гаусс буква G.

Каким же образом в ОСТ 6052 (внесен тем же ВИМС, утвержден в 1933 г.) та же буква G стала обозначать уже грамм (веса)?

Если согласно ОСТ 516 буква g окончательно закреплена за граммом массы, то для грамма веса следовало бы по общей системе принять хотя бы обозначение gr; однако, конечно, лучше было бы, наоборот, для грамма веса, как гораздо более распространенной величины, принять обозначение g, а для грамма массы — gr. Правда, был еще старый «аптекарский» вес — гран, обозначавшийся через gr, но пусть теперь гран обозначают хотя бы через gn, те, кто хочет им пользоваться. Тогда все будет в порядке. Обозначение грамма веса через G (большое) совершенно не увязано со всей нашей системой обозначений, где все основные меры (массы, длины, времени и пр.) обозначаются малыми буквами. Большие буквы приняты для величины электрических потому, что последние все происходят от имен собственных (A, V, W, J и т. д.). К тому же жил на свете и Грамм — изобретатель динамо-электрической машины, «непричастный», однако, ни к грамму веса, ни к грамму масса, ни к гауссу.

Так или иначе с обозначениями для грамма гаусса надо дело урегулировать.

Теперь несколько слов о тиражах и оформлении электротехнических стандартов. Нельзя не знать, чтобы обычные тиражи (5000) были хоть сколько-нибудь достаточны.

Но, если абсолютная величина тиражей может быть объяснена, например, недостатком бумаги, относительная величина их никаким объяснением не поддается. Понятным, но не гибким, решением было бы издание стандартов, относящихся к определенной области, в строго одинаковом числе экземпляров для образования комплектов. Но, к сожалению, видимо, желают пойти навстречу потребности и регулируют тиражи, но как?

ОСТ/ВКС 6896 «Термины, обозначения и подразделения в области ферромагнитных явлений», ну и немногим физикам, работающим в этой области, был выпущен в количестве 3000 экземпляров.

Но вот ОСТ 2524 «Трансформаторы силовые масляные», нужный огромному числу потребителей — главному, заводам, электростанциям, электросетям, проектирующим организациям, инженерам, студентам, одним словом, количеству лиц, пример в 100 раз большему, чем стандарт предыдущий, выпущен в количестве всего 4500.

Обратимся теперь к оформлению наших электротехнических стандартов — бумаге, формату и прочим «мелочам».

Примерно до 1929 г. электротехнические стандарты (ОСТ 515, 516, 573 и другие) подобны имеют строго единообразную внешность; форма выдержан, бумага белая, прочная, что совершенно необходимо, так как чем меньше тираж подобного издания, тем на больший износ оно должно быть рассчитано. Но, начиная, примерно с 1929 г., появляется чрезвычайная пестрота; бумага — самых различных цветов и оттенков, как-то: кремового (ОСТ 4760), голубого (ОСТ 2524), розового (ОСТ 5579) и т. д.; по качеству бумага приближается к оберточной (ОСТ 5579). Вряд ли эта пестрота цветов вызвана стремлением издателей облегчить разыскание требуемого стандарта среди других прочих; для этого достаточно имеющейся нумерации. Но, ведь не объясняется это и недостатком белой бумаги; ведь при тираже в 5000 все издание одного стандарта (часто в 1 ÷ 2 листах) требуется столько же бумаги, сколько пойдет на 25 ÷ 50 экземпляров любой книги в 400 страниц, правда, бумага требуется хорошая, плотная.

Форматы стандартов совершенно не унифицированы; в этом отношении уже никак невозможно сослаться на отсутствие чего-либо, а прежде всего — самого стандарта на форматы: существует ОСТ/ВКС 7532 от 1934 г., где совершенно точно указан стандартизированный формат 203 × 288 мм, причем даже не дано никаких допусков.

В СССР выходит огромное количество безудержных изданий и периодических, и непериодических; поскольку стандарты представляют не только законы, но и культурные достижения, представляют часто результат огромного, концентрированного

<sup>1</sup> Нельзя не указать, как на курьез, на выписку из протокола ВКС, помещенную на задней странице этого стандарта с предписанием о внедрении его в школьной (и в системе разных наркоматов, в том числе Наркомзема (и) СССР и союзных республик. Это тем более непонятно, что один из других стандартов такой выписки не содержит.

важного труда, они заслуживают такого же безукорызного оформления, как наши лучшие издания.

Можно полагать, что одной из причин пестроты электротехнических стандартов является частая смена их издателей. В 1928 ÷ 1929 гг. это была «Техника управления». Конечно, не совсем понятна связь между техникой управления и, например, стандартом на математические символы или магнитные единицы, но надо признать, что «Техника управления» справлялась со своим делом неплохо (пример тому ОСТ 515, 516, 517 и пр.). Стандарты издания 1932—1934 гг. имеют уже марку издательства — Стандартизация и рационализация, в 1936 г. — Стандартгиз и, наконец, в 1938—1939 гг. — Каталогиздата НКОН.

Причиной недостатков многих стандартов, повидимому, является то обстоятельство, что большинство стандартов выпускается с опозданием, а значит, в большой спешке; оформление же и распространение их запаздывает еще больше. Не редки случаи, когда только что выпущенный стандарт имеет пометку о всеобщей его обязательности уже в течение 6 ÷ 12 мес. Некоторым стандартам очень не везет при их «рождении»; они никак не могут продлиться, а потому, «родившись», оказываются уже устаревшими. Ибо, вообще говоря, «средняя продолжительность жизни» электротехнических стандартов невелика и не превышает трех лет; у нас на составление и выпуск иного стандарта тратится, примерно, такое же время.

Может быть следует признать, что на данном

этапе быстрого развития какой-либо области или каких-то объектов электрооборудования еще не выявился тип стандартный, упрочившийся на достаточный промежуток времени, хотя бы на те же 3 года. Поэтому для таких объектов (при наличии Общих электротехнических правил и норм) достаточно будет издавать не стандарты, а просто каталоги, что будет и целесообразнее, и проще, и займет меньше времени.

В заключение, нельзя не упомянуть, что даже в отношении простой, казалось бы, задачи, почти формальности, а именно индексации и нумерации — электротехническим стандартам пришлось разделить печальную судьбу всех прочих стандартов, а именно пережить постоянную ломку системы индексации и нумерации (ср., например, последнюю у следующих стандартов: ОСТ/ВКС 8235 — «Трансформаторы тока», ОСТ 20020 — «Электрические машины», СТ5—5 — «Провода медные для отводов трансформаторов», СТ42—25101 — «Лакоткань шелковая»). Поистине, что ни год, что ни главк, то своя система индексации и нумерации.

Наркомат электропромышленности СССР и его Технический совет должны немедленно разработать ряд мероприятий, чтобы прекратить вредный разноречивый в деле стандартизации. Наркоматом должен быть поставлен перед вышестоящими инстанциями вопрос о создании общегосударственного органа для координации всего дела стандартизации в стране.

## О РАБОТАХ СОВЕТСКИХ ЭЛЕКТРОТЕХНИКОВ\*

### Прошенная защита дистанционного типа от замыканий на землю

Г. И. АТАБЕКОВ

«Теплоэлектротехника»

Защита от однофазных и двухфазных замыканий на землю, основанная на дистанционном принципе, может быть осуществлена с помощью одного реле мощности, включенного в нулевой провод трансформаторов тока, т. е. на ток нулевой последовательности.

Напряжения поврежденной фазы А при фазном замыкании на землю

$$\dot{U}_A = (\dot{I}_1 + \dot{I}_2) Z_1 + \dot{I}_0 Z_0 + 3\dot{I}_{k0} R_3, \quad (1)$$

$\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_0$  — симметричные составляющие токов в поврежденной фазе;  $Z_1, Z_0$  — импедансы положительной и нулевой последовательности участка от места установки реле до места повреждения;  $R_3$  — переходное сопротивление в месте замыкания на землю.

Сила тока реле мощности подвести напряжение

$$\dot{U}_p = \dot{U}_A - [(\dot{I}_1 + \dot{I}_2) Z'_1 + \dot{I}_0 Z'_0], \quad (2)$$

$Z'_1, Z'_0$  — импедансы положительной и нулевой последовательностей защищаемой зоны, то при замыкании в конце защищаемой зоны

$$\dot{U}_p = 3\dot{I}_{k0} R_3. \quad (3)$$

В этом разделе помещаются краткие сообщения инженеров и научных работников о своих теоретических, экспериментальных, расчетных, конструкторских и других работах.

При подведении к токовой обмотке реле тока  $\dot{I}_p = 3\dot{I}_0$  действие реле мощности синусного типа, имеющего нормально замкнутый контакт, зависит всецело от синуса угла между векторами  $\dot{U}_p$  и  $\dot{I}_p$ .

Векторы токов  $\dot{I}_0$  и  $\dot{I}_{k0}$  близко совпадают по фазам, поэтому момент на клеммах реле синусного типа близок к нулю, и реле держит контакт замкнутым.

При повреждении в пределах защищаемой зоны ( $z_1 \leq z'_1, z_0 \leq z'_0$ ) момент на клеммах реле отрицателен и действует в сторону замыкания контакта, а при повреждении вне ее ( $z_1 > z'_1, z_0 > z'_0$ ) — положителен и действует в сторону размыкания контакта.

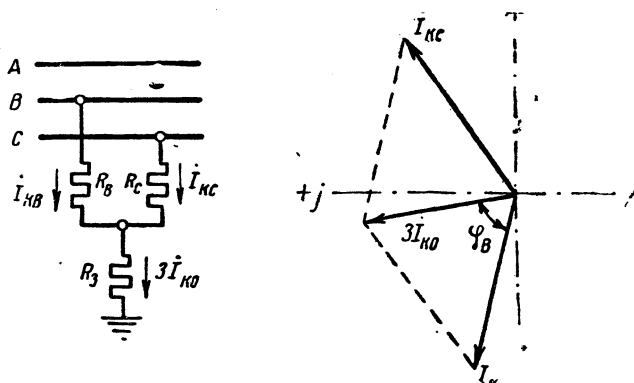


Рис. 1. Двухфазное замыкание на землю

Выражение (2) может быть преобразовано следующим образом:

$$\dot{U}_p = \dot{U}_A - \left( i_A + \frac{Z'_0 - Z'_1}{3Z'_1} 3i_0 \right) Z'_1, \quad (4)$$

полагая

$$\frac{Z'_0 - Z'_1}{3Z'_1} \approx k,$$

получаем:

$$\dot{U}_p = \dot{U}_A - (I_A + k3I_0) Z'_1. \quad (5)$$

При двухфазном замыкании на землю (фаз  $B$  и  $C$ ) выражение (3) для фазы  $B$  принимает вид (рис. 1):

$$\dot{U}_p = i_{kR} R_R + 3i_{k0} R_3, \quad (6)$$

где  $I_{kB}$  — ток в ответвлении к. з. (в фазе  $B$ );  $R_B$  — переходное сопротивление в фазе  $B$ .

Вектор  $\vec{U}_p$  опережает вектор  $\vec{i}_p = 3\vec{i}_0$  на угол  $\varphi_B$  (рис. 1), и, следовательно, мощность на клеммах реле синусного типа имеет положительный знак, т. е. действует в сторону замыкания контакта. Таким образом наличие переходного сопротивления в фазе  $B$  способствует укорочению защищаемой зоны.

Аналогично можно показать, что наличие переходного сопротивления  $R_C$  в фазе  $C$  способствует удлинению защищаемой зоны.

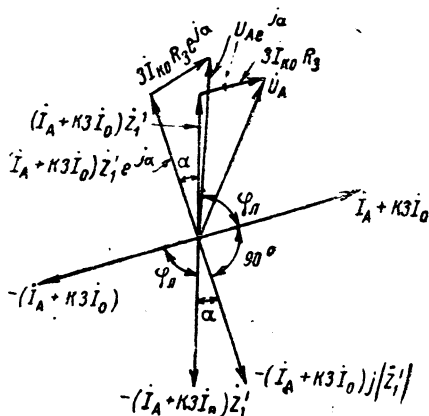


Рис. 2. Векторная диаграмма

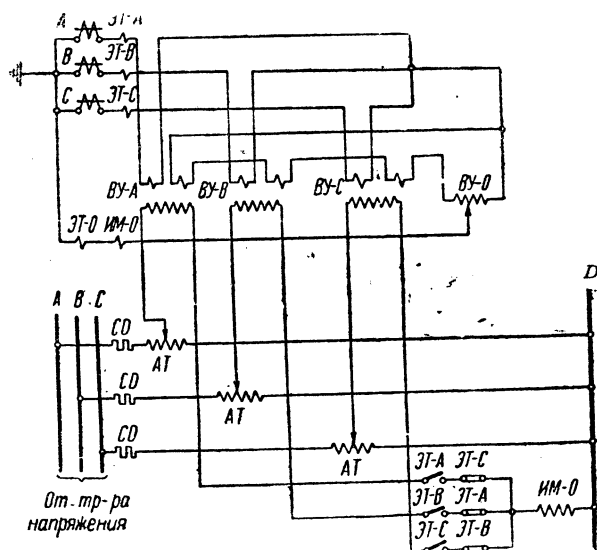


Рис. 3. Развернутая схема цепей переменного тока

$\mathcal{E}T-A, B, C$  — избирательные органы фаз  $A, B$  и  $C$  (например типа  $\mathcal{E}T-63$ );  $\mathcal{E}T-0$  — реле максимального тока нулевой последовательности ( $\mathcal{E}T-67$ );  $ИМ-0$  — реле мощности типа  $P_p = U_p I_p \cos(\varphi_p + \varphi_d)$ ;  $BV-0$  — автотрансформатор тока типа  $BV-26$ ;  $AT$  — автотрансформатор напряжения (например типа  $BV-104/2$ );  $CD$  — добавочное активное сопротивление

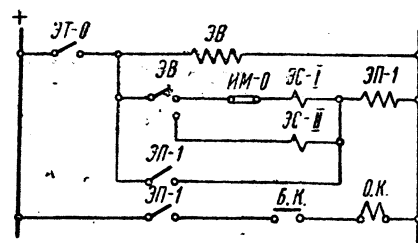


Рис. 4. Развернутая схема цепей постоянного тока

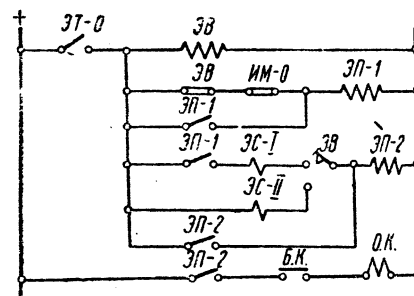


Рис. 5. Развернутая схема цепей постоянного тока с фиксацией первого замера мощности

Выполнение защиты с реле синусного типа в том как это описано выше, возможно при условии добав-

к напряжению поврежденной фазы э. д. с. —  $(\dot{I}_A + k\dot{I}_0)$  отстающей по фазе от вектора тока  $\dot{I}_A + k\dot{I}_0$  на  $180^\circ - \varphi_A$ , где  $\varphi_A$  — импедансный угол защищаемой (рис. 2). Практически удобнее получить э. д. с., отста от указанного вектора тока на  $90^\circ$ . Это может быть гнуто с помощью трансформатора тока ХЭМЗ типа ВУ. При этом второй член правой части выражения (4) ок повернутым на угол  $\alpha = 90^\circ - \varphi_A$  в сторону опере. Поэтому, если повернуть на тот же угол  $\alpha$  и первый правой части выражения (4) (вектор  $\dot{U}_A$ ), напряже клеммах реле  $\dot{U}_p$  окажется также повернутым на в сторону опережения (рис. 2).

В этом случае правильное действие защиты по-  
лучено при условии применения реле мощности смешанного  
т. е. реагирующего на мощность  $P_p = U_p I_p \sin(\varphi_p - \varphi_A)$   
что то же,  $P_p = U_p I_p \cos(\varphi_p + \varphi_A)$ , где  $I_p = 3I_0$ .

На рис. 3 и 4 показаны развернутые схемы цепей переменного и постоянного тока описанной защиты. И темные органы условно показаны токового типа (реле  $A, B, C$ ). Ради простоты приняты две степени времени. При замыканиях на землю в пределах  $z_1 \leq z_1'$  к реле мощности *ИМ-0* остается замкнутым, и защита не действует в момент проскальзывания скользящего контакта. При замыканиях на землю в пределах  $z_1 > z_1'$ , контакт реле *ИМ-0* размыкается, и защита действует с резервной выдержкой времени.

В случае двухстороннего питания в схеме должен быть предусмотрен орган направления энергии нулевой мощности. Поворот векторов фазовых напряжений  $\alpha$  осуществляется при помощи добавочных активных сопротивлений  $CD$  в цепи автотрансформаторов напряжения. Регулировка длины защищаемой зоны производится при помощи автотрансформатора напряжения  $AT$  (рис. 3).

На рис. 5 дан вариант схемы (в части постоянной с фиксацией первого замера мощности на клемме ИМ-0. Преимущество схемы рис. 5 перед схемой 4 при наличии фиксации действие защиты не зависит изменений условий к. з. (возрастания сопротивления дуги при переходе однофазного замыкания в двухфазное замыкание на землю и т. д.). Ввиду того что в начальный момент протекание дуги относительно мало, погрешность двухфазных замыканий на землю, обусловленные на сопротивлениях  $R_B$  (рис. 1), будут сведены к минимуму. Протекание  $R_C$  не оказывает влияния на работу так как, согласно рис. 3, фаза  $C$  в замеры мощности не участвует).

Описанная выше защита от замыканий на землю

тся простотой. Второе ее преимущество то, что при двух-трехкратном питании переходное сопротивление  $R_3$  в месте переключения оказывает меньше влияния, чем при обычной реактансного типа, так как распределение токов в левой последовательности не зависит от расхождения  $i$  с по фазе, а лишь от параметров схемы нулевой последовательности ( $i_{\text{к}0}$  и  $i_0$  близко совпадают по фазе).

## Индуктивный метод измерения линейных размеров

Г. Н. СЕНИЛОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Для измерения механических величин с помощью электрического тока в настоящее время используются главным образом емкостной и индуктивный методы, основанные на применении высокой частоты. Применение высокой частоты к индуктивному методу позволяет свести самый мерительный орган к минимальным размерам, ограничив при этом мерительное давление также всего несколькими граммами. В целом, однако, все высокочастотные способы нуждаются в радиоаппаратуре и являются достоянием лишь лабораторной практики. В статье рассмотрен низкочастотный индуктивный миниметр, применимый в условиях массового и штучного цехового контроля.

По сравнению с обычным миниметром, индуктивный миниметр имеет большую чувствительность, точность и постоянство показаний. Кроме того, индуктивный миниметр допускает передачу показаний на расстояние, а также автоматизацию контроля. Разработанный на I ГПЗ изобретателем Н. П. Толмачевым индуктивный миниметр, или, иначе, "электролимит", имеет следующие совершенно оригинальные качества: свободный ход ножки выше предела измерений; работа на измерительном приборе переменного тока без выпрямителей; сведение измерительного давления к нулю; повышение чувствительности до 0,1  $\mu$ .

На рис. 1 показан внешний вид индуктивного миниметра I ГПЗ им. Кагановича.

**Принцип действия.** Прибор основан на изменении весьма малого воздушного зазора  $\delta$  между двумя индуктивными катушками, работающими в схеме неуравновешенного моста, в переключку которого включен указательный прибор. Изменение зазора происходит в результате движения якорька 1 (рис. 2), в который упирается измерительная ножка 2. Характерной особенностью всего измерительного органа является полное отсутствие трущихся частей. В самом деле, якорек 1, укрепленный в задней стенке только с помощью плоской пружины  $F_1$ , стремится подняться вверх. Подъему вверх препятствует через дужку 3 спиральная пружина  $F_1$ .

Под действием ножки якорек все же поднимается вверх до верхнего упорного винта, вслед за тем начинается свободный ход ножки. Свободный ход облегчает подставлять измеряемые детали под ножку.

В нейтральном положении якорька через него проходит общий поток катушек в перпендикулярном направлении, вследствие чего индуктивности обеих катушек равны. Как только равенство зазоров катушек  $\delta_1$  и  $\delta_2$  нарушится, через якорек начинает проходить дополнительный продольный поток  $\Delta\Phi$  от той катушки, в которой зазор уменьшился. Изменение индуктивности катушек, вызванное дополнительным потоком  $\Delta\Phi$ , может быть подсчитано путем замены схемы потокоцеплений эквивалентной электрической схемой. В результате получаются кривые рис. 3, где

$$k = \frac{\Phi + \Delta\Phi}{\Phi} = \frac{X_2}{X_1} \gg 1. \quad (1)$$

Из кривых мы видим, что различная начальная регулировка зазора дает различную чувствительность прибора.

Размеры катушек и величина их ампервитков ограничены, помимо габаритов, еще и тем, что в крайних положениях якорька наличие потока  $\Delta\Phi$  создает притяжение якорька к катушкам с силой  $F_k$  и вибрацию. Однако в последнее время удалось полностью скомпенсировать силу  $F_k$  удачным подбором пружин, сведя таким образом мерительное давление к нулю  $F_p = F'_k - (F_1 - F_2) \approx 0$ . Обстоятельство это чрезвычайно важно для конструирования профилографа.

**Электрическая схема соединения.** В электролимите показания электрического прибора определяют ход ножки в микронах, поэтому необходимо строгое постоянство питающего напряжения. Феррорезонансный стабилизатор с трехстержневым сердечником оказался вполне приемлемым для этой цели. Он позволяет добиться коэффициента стабилизации

$$c = \frac{\pm 0,05\%}{\pm 10\%} = 0,005.$$

Мостиковую схему соединения катушек нужно выбрать из условия получения максимального напряжения  $U_x$  на переключке моста при заданных: питающем напряжении  $U_c$ , изменении индуктивности катушек ( $k = \text{const}$ ) и максимальных ампервитках катушки.

Обычно в электролимитах применяется схема с бифилярным дросселем (рис. 4). Два плеча мостика схемы являются одинаковыми обмотками дросселя с большим числом витков и намотаны бифилярно. Поэтому  $X_d \gg X_k$ .

Обходя каждую ветвь моста и учитывая э. д. с. от взаимной индукции в обмотках дросселя, получим:

$$i_1(Z_1 + Z_d) - jX_d i_2 = i_2(Z_2 + Z_2) - jI_1 X_d = U_c.$$

Отсюда можно определить с вполне достаточной точностью равенство токов в ветвях:

$$i_1 = i_2 \frac{Z_2 + Z'_1}{Z_1 + Z'_1} \approx i_2,$$

где

$$Z_d = r_d + jX_d; \quad Z'_1 = r_d + j2X_d;$$

$$\frac{Z_2 + Z'_1}{Z_1 + Z'_1} \approx 1 \quad (\text{так как } X_d \gg X_k).$$

Подставляя в формулу для  $\dot{U}_x$  выражение для  $U_c$ , найдем напряжение на переключке:

$$U_x = I_1 Z_1 - I_2 Z_2 = \bar{U}_c \frac{k - 1}{1 + \frac{r_k + r_d}{jX_k}}.$$

Особенностью схемы с бифилярным дросселем по сравнению с простым мостиком Уитстона при условии  $X_d \gg X_k$  является сохранение неизменной силы тока в обеих ветвях, что и дает большее значение  $U_x$ .

<sup>1</sup> Выражение  $\frac{\partial U_x}{\partial x}$ , где  $x$  — индуктивность катушки, не годится в качестве критерия ввиду его сложности.

<sup>2</sup> Описанная схема называется иногда схемой Уолша и может быть решена также методом трансформации дросселя в эквивалентную звезду (см. Arch. f. Elektrotechnik № 6, 1939). Решение схемы с учетом  $I_x$  в переключке сложно.

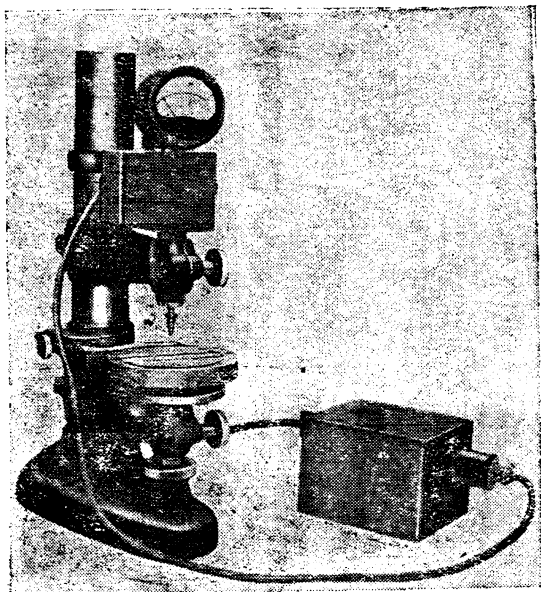


Рис. 1. Общий вид индуктивного миниметра

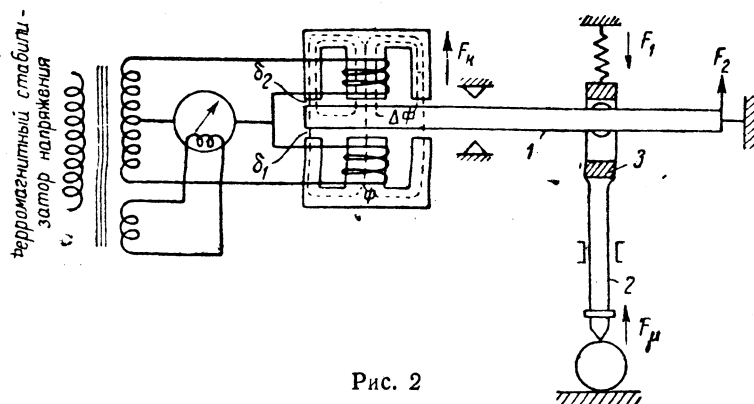


Рис. 2

В последнем варианте электролимита нами была принята электрическая схема соединения Толмачева (рис. 5). В схеме плечами, противоположными измерительным катушкам, являются две равные половины вторичной обмотки стабилизатора (или трансформатора), который в то же время является

источником напряжения  $U_c$ . Считая  $\frac{U_c}{2}$  уже за равные напряжения на секциях с учетом омического и индуктивного падения напряжения в обмотках трансформатора, получим, обходя и суммируя контуры, что

$$\dot{U}_x = \frac{1}{2} i (Z_1 - Z_2) = \frac{1}{2} \dot{U}_c \frac{k - 1}{(k + 1) + \frac{2r}{jX}}$$

Схема Толмачева дает экономию места за счет сердечников дросселя.

Если положить  $U_c = IZ$  ( $Z$  — импеданс катушки) и принять ток, равным единице, то при  $k = 1,5$ ,  $X = 36 \Omega$  и  $r = 8 \Omega$  схема простого моста Уитстона с омическими сопротивлениями в противоположных плечах дает напряжение на переключке, равное 22% от того же напряжения схемы рис. 4, а схема рис. 5 — 41% этого напряжения.

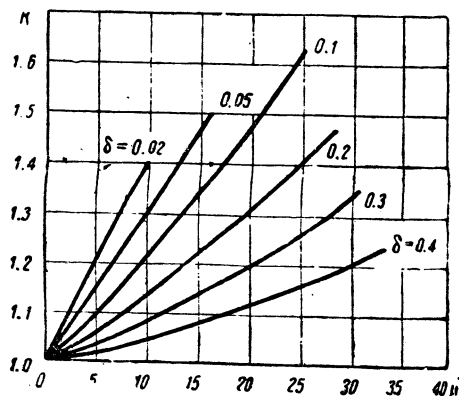
Из формул для  $U_x$  видно, что при заданном ходе ножки ( $\mu = \text{const}$ ,  $k = \text{const}$ ) показание прибора будет тем больше, чем больше отношение индуктивности катушек к их омическому сопротивлению. Для заданных габаритов катушек существует оптимум этого соотношения, определяющий сечение провода. Если же необходимо получить еще большую чувствительность, — следует применять устроитель частоты, конструктивно объединенный со стабилизатором. Индуктивное сопротивление  $X_k$  естественно увеличивается при этом в 3 раза, кроме того, при заданных максимальных ампервитках катушек возможно повысить  $U_c$ . Увеличение чувствительности дает также схема, в которой все 4 плеча мостика расположены попарно на обеих катушках.

**Указательный орган.** Обычно в переключку моста включается милливольтметр с купроксными выпрямителями в схеме Гретца. Тогда наибольшая чувствительность, безинерционность и демпфировка достигаются при минимальном потреблении прибором тока и напряжения ( $I < 1 \text{ mA}$ ;  $U < 0,2 \text{ V}$ ). Если же указателем является прибор переменного тока, то, помимо исключения купрокса, мы имеем практически равномерную шкалу. Дадим ниже краткое описание этого прибора ввиду его оригинальности и новизны применения в электролимите (прибор виден на рис. 1).

Данный прибор, являющийся по своему принципу ферродинамическим, можно получить из магнитоэлектрического прибора при питании как рамки, так и электромагнита (заменяющего здесь постоянный магнит) переменным током. Таким образом прибор требует строго фиксированного питающего напряжения для электромагнита, которое доставляется специальной обмоткой стабилизатора. Измеряемое напряжение порядка 0,5 V подается на рамку.

От пульсации потока электромагнита в рамке всегда наводится переменная э. д. с., изменяющаяся в пространстве по закону синуса в зависимости от угла ( $\alpha$ ) поворота рамки.

Как легко доказать с помощью соотношения для потоко-сцеплений, при замыкании рамки благодаря ее индуктивности электрический момент стремится освободить рамку от сцепления с потоком, сведя ток в ней к нулю. Чисто активное сопротивление рамки не создает момента благодаря сдвигу тока и потока на  $90^\circ$  во времени. Емкостное сопротивление обуславливает поворот рамки до максимума тока.

Рис. 3. Кривые  $k = f(\mu)$ 

Благодаря указанному свойству рамки, при питании ее внешним напряжением от переключки моста она автоматически поворачивается в такое положение, когда приложенное напряжение  $U_x$  и наведенная э. д. с.  $U_p$  взаимно компенсируются, а ток сводится к нулю.

Взаиморасположение стрелки и рамки таково<sup>3</sup>, что середина шкалы соответствует прохождению указанной выше синусоиды через нуль. Таким образом весь диапазон шкалы  $70^\circ$  охватывает приблизительно прямолинейную часть синусоиды.

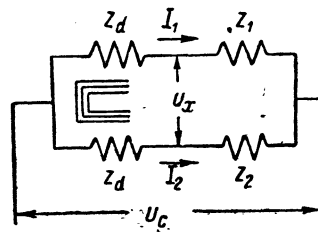


Рис. 4

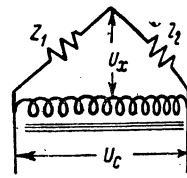


Рис. 5

Согласно рис. 3, зависимость  $(k - 1) = f(\mu)$  на небольших участках также прямолинейна, поэтому мы в результате должны иметь равномерную шкалу микрон на приборе:

$$\mu \equiv U_c \frac{k - 1}{1 + \frac{2r}{jX}} = U_x = U_p = U_{p\max} \sin \alpha \approx a.$$

Из изложенного ясно, что пружинки в этом приборе служат лишь для подвода тока и возвращения рамки в нулевое положение. И действительно, их момент значительно меньше электродинамического момента (26 и 420 дин см).

В данном приборе требование высокой чувствительности и хорошего демпфирования несовместимы. Дело в том, что демпфирующая сила требует для своего увеличения наибольшего числа витков рамки и потока сквозь рамку. Эти величины увеличивают наводимую в рамке э. д. с.  $U_p$ , а силу равенства  $U_x = U_p$  при этом требуется большее напряжение  $U_x$  на каждый градус поворота рамки, т. е. чувствительность прибора понижается.

В условиях массового контроля решающим качеством является мгновенная остановка стрелки. Полученная при этом чувствительность (вся шкала = 4  $\mu$ ) является достаточно соковой; она дает коэффициент усиления всего электролимит порядка 10 000 (имеется в виду отношение хода стрелки к ходу ножки).

Характерно, что в то время как электролимит допускает измерения с точностью до 0,1  $\mu$ , изготовление самого электролимита не требует точности выше, чем  $\pm 5 \mu$ .

Мы описали только одно из наиболее характерных применений метода индуктивных катушек. В последнее время этот метод находит все больше применения для самых разнообразных целей — измерения давления, передачи измере-

<sup>3</sup> Это взаиморасположение соответствует предварительному смещению якорька вниз от нейтрального положения, что дает уменьшение мерительного давления.

расстояние, профилографа и, наконец, автоматизации измерений.

## Литература

1. ETZ, S. 793, № 26, 1937.
2. AEG-Mitteilungen № 11, 1937.
3. Forschung a. d. Gebiete d. Ing. № 6, 1938.
4. „Подшипник“ № 12, 1938.
5. Archiv f. Elektrotechn. № 5, 1939.

## Электрометрические методы определения влажности хлопка

И. П. КУДИН

Украинский научно-исследовательский институт зерна

Электрометрические методы, позволяющие определять влажность вещества быстро, в несколько минут, завоевали весьма прочное место. Например, влагомер для зерна (ВП-4), разработанный в Украинском научно-исследовательском институте зерна, широко внедрен в СССР и производится в массовом масштабе; разработан влагомер для хлопка (ВП-6), подготовляемый к внедрению. За границей широко распространено несколько типов влагомеров, основанных на измерении различных электрических параметров и предназначенных для определения влажности самых разнообразных продуктов и веществ. Некоторые конструкции (например влагомер фирмы Tag-Heppenstall, США) стандартизированы.

В настоящее время имеется обширная литература по вопросам применения различных принципов и схем для целей электрометрического определения влажности хлопка. Освещены эти вопросы в литературе односторонне, только в направлении возможности измерений.

В электрофизической лаборатории Украинского научно-исследовательского института зерна автор провел сравнительные испытания различных схем электровлагомеров, составил классификацию электрометрических методов и установил способ, позволяющий с максимальной точностью проводить измерения влажности хлопка при неравномерном распределении влаги в материале.

Все известные методы электрометрического определения гигроскопической влаги в хлопке основаны на измерении тем или иным путем изменений, какие вносит вещество в цепь электрического тока, в переменное электрическое или магнитное поле. Методы могут быть также основаны на измерении комплексных изменений.

Для хлопка при соблюдении постоянных условий существует закономерная зависимость между электрическими параметрами и влажностью его. На рис. 1 даны диэлектрическая постоянная, ее логарифм и логарифм проводимости в зависимости от влажности хлопка с объемным весом  $0,2 \text{ g/cm}^3$  при температуре  $18^\circ$ . Удельное сопротивление отнесено к  $1 \text{ cm}^3$ .

Установлено, что зависимость между  $\lg \epsilon$  и  $\frac{1}{\rho}$  и температурой в широких пределах влажности линейна, с увеличением температуры значения этих параметров возрастают. Увеличение температуры на  $1^\circ$  как бы изменяет влажность, измеренную электрометрическим путем, на  $0,098\%$ .

Распределение влаги в хлопке является фактором, который не может быть учтен при измерении. Ошибки измерений, вызываемые этим фактором, могут быть значительными и до-

ходить до  $100\text{--}200\%$  (относительных). Существующая аппаратура не учитывает влияния этого фактора, и это ограничивает ее применение. Нами теоретически рассмотрен этот вопрос. Найдено, что эффективные эквивалентные электрические параметры находятся в следующей зависимости от неравномерности:

$$A = A_0(k \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha).$$

Здесь  $A$  — эффективное значение электрического параметра (проводимости, диэлектрической постоянной);  $A_0$  — параметр при равномерном распределении влажности;  $k$  — коэффициент, характеризующий степень неравномерности;  $\alpha$  — коэффициент, характеризующий вид неравномерности.

Подсчитано, что наименьшие ошибки при измерении дает метод измерения влажности по диэлектрической постоянной. Также установлено, что существует определенная закономерность между ошибками, которые получаются при измерении двумя различными методами.

Экспериментально сравнивались три метода: по проводимости в цепи постоянного тока (влагомер ВП-6), по проводимости в цепи переменного тока частоты  $6000 \text{ Hz}$  (влагомер «Кембридж») и по диэлектрической постоянной (влагомер ВПК-7).

Сравнение производилось следующим образом: исследовался хлопок различной влажности с установившимся распределением влаги. Всего взято 13 образцов с влажностью от 6 до  $30\%$ , через каждые  $2\%$  влажности. На этих образцах градуировались все три влагомера. Затем, в определенной очередности, каждый образец увлажнялся посредством пульверизатора на  $2\%$ , тщательно перемешивался и помещался

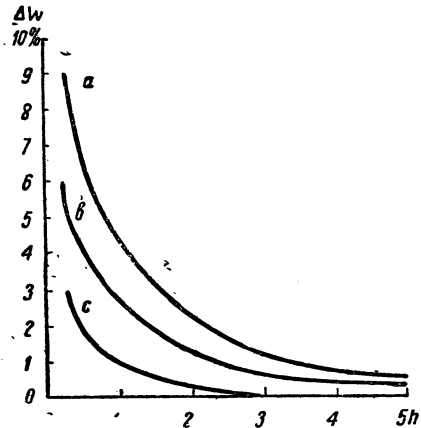


Рис. 2

в герметически закрытый сосуд. Через 30 мин после увлажнения производились первые замеры влажности одновременно на трех влагомерах. Такие измерения производились в дальнейшем через каждый час в течение 5 ч. После установления равномерного распределения влаги в образцах влажность их определялась методом высушивания в электрических сушильных шкафах при температуре  $105^\circ \text{C}$  до постоянного веса. Температура в шкафах поддерживалась с точностью  $\pm 0,5^\circ$ . В момент высушивания относительная влажность воздуха помещения и температура поддерживались постоянными.

На рис. 2 показаны кривые изменения ошибок в абсолютных процентах влажности со временем (кривая а — влагомер «Кембридж», б — тип ВП-6, с — тип ВПК-7).

Результаты показывают, что метод диэлектрической постоянной дает наименьшие ошибки.

Особенности методов в отношении различия ошибок могут быть положены в основу для создания влагомера, показания которого не будут зависеть от распределения влаги в материале.

## О делении высокого напряжения импульсной формы

И. Е. БАЛЫГИН

Ленинградский индустриальный институт

В настоящее время, как известно, вопрос о делении высокого напряжения импульсной формы еще нельзя считать окончательно разрешенным. Этим вопросом и сейчас интенсивно занимаются многие высоковольтные лаборатории. В связи с постройкой импульсного генератора в высоковольтной

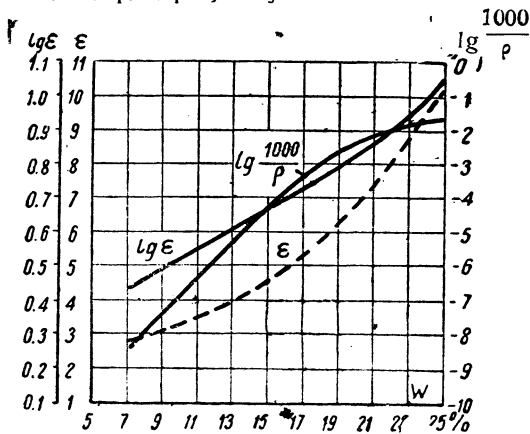


Рис. 1



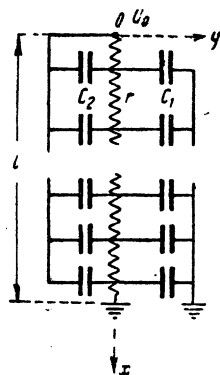


Рис. 1. Эквивалентная схема простого омического делителя

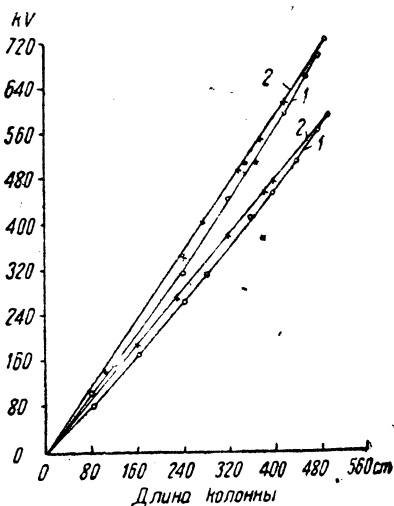


Рис. 3. Кривые распределения напряжения по длине колонн, накрытых экранирующим диском  $d = 3,0$  м

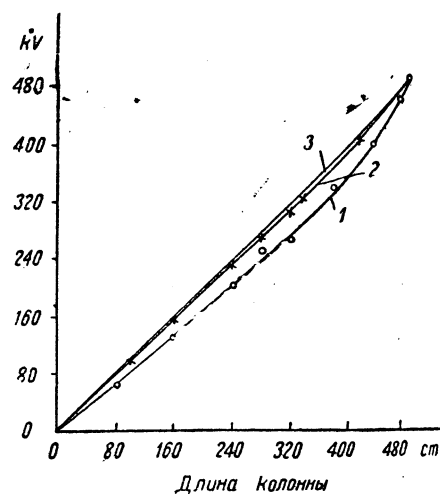


Рис. 4. Кривые распределения напряжения по длине колонн, накрытых экранирующим диском  $d = 1,5$  м

лаборатории Бюро куйбышевских работ Ленинградского индустриального института для испытаний изоляции и разрешения вопросов, связанных с защитой линий передач Куйбышевской гидростанции, были поставлены предварительные работы по

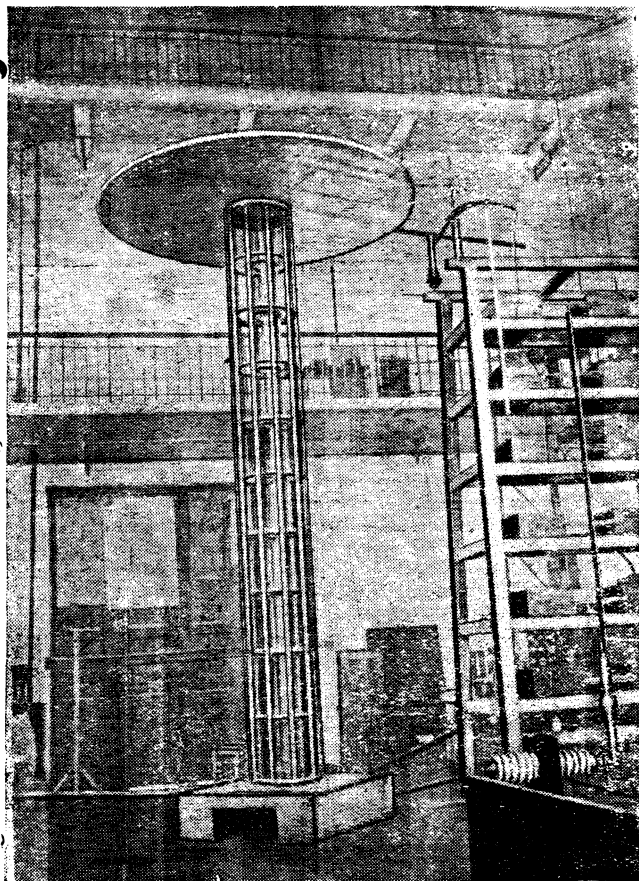


Рис. 2. Фотография делителя с экранирующим диском  $d = 3$  м

существования паразитных токов через емкости витков относительно земли и окружающих предметов, в том числе и на высоковольтную подводу от генератора к делителю. По этому схема простого делителя должна рассматриваться такой, как показана на рис. 1. В данной схеме не учтена междувитковая емкость, которой можно пренебречь. Отклонение от прямолинейного распределения напряжения на делителе бывает обычно наиболее сильно выражено на крайних витках делителя. Такая неравномерность вызывает искажения формы волн. К элементам, вносящим искажение, можно отнести и электрическое влияние импульсного генератора на витки делителя и, отчасти, также быстропеременное электромагнитное поле импульсных токов. Очевидно, что и от этих влияний делитель нуждается в экранировании.

Идеи об экранированном делителе высказывались и раньше, но способы осуществления предлагались мало надежные (например, экранированный жидкостной делитель Раске [II]).

Описание делителя. Омический делитель, с которым проводились испытания, состоял из двух концентрических колонн высотой 5 м цилиндрической формы (рис. 2), симметрично расположенных одна внутри другой. Обмотка колонн была безиндукционной и выполнена так, что витки колонн имели, примерно, одинаковые сопротивления. Колонны были собраны из тонких деревянных реек.

Диаметр обмотки наружной колонны составляет около 62 см, внутренней около 31 см.

При прохождении тока по обмоткам обеих колонн такая делителя, в случае одинакового падения напряжения на соответственных горизонтальных витках, разность потенциалов между ними должна быть равна нулю и, несмотря на существование динамической емкости между витками с внутренней колонны на витки наружной, емкостные токи должны бы отсутствовать. В действительности же с наружной колонны будет течь ток через паразитные емкости, и распределение напряжения по длине этой колонны будет неравномерным. Вследствие этого появится сравнительно небольшая разность потенциалов между витками обеих колонн, и с внутренней колонны на наружную тоже потекут какие-то емкостные токи, но уже определяемые только этой разностью потенциалов, отчего напряжение по внутренней колонне распределится равномернее (выравнивающий эффект). В такой комбинации делителем в собственном смысле должна служить только внутренняя колонна, а наружная лишь экраном. По отношению к электростатическим влияниям такая система делителя из концентрических колонн должна действовать аналогично Фарадееву цилиндру — статические заряды с внутренней колонны должны в какой-то степени вытесняться наружную.

Для опытной проверки делителя было произведено измерение распределения напряжения вдоль колонны. Измерения вдоль наружной колонны производились маленькими щупами.

<sup>1</sup> Статической емкости между витками быть не должно, так как обе колонны сверху и снизу имеют электрическое соединение.

делению высокого импульсного напряжения. В плане этой работы автор разработал и экспериментально проверил новый тип омического делителя, который имеет ряд преимуществ перед существующими делителями такого же типа.

Хорошо известно, что напряжение по длине обычного омического делителя не распределяется равномерно вследствие

разрядниками с диаметром шаров 5 мм. Измерялась разность потенциалов на 6 витках наружной колонны. Собственная емкость таких шариков по отношению к этим виткам, как показали расчеты, не превышала 4%. Падение напряжения на 6 витках измерялось через каждые 20 см по длине наружной колонны, для суммарного же напряжения брались средние. Общее напряжение на колоннах для контроля измерялось шаровыми разрядниками  $d = 50$  см. Расхождение в цифрах измеренного таким путем напряжения с суммированием отдельных измерений падения напряжения на 6 витках не превышало 7%. Чтобы получить кривую распределения напряжения по длине внутренней колонны шаровыми разрядниками измерялась разность потенциалов между горизонтальными витками колонн на определенных расстояниях. Потенциал на данной высоте внутренней колонны получался из потенциала на той же высоте наружной колонны добавлением разности потенциалов между колоннами. Относительная величина потенциала между колоннами (знаки) в некоторых случаях определялась специальными клидонографами. Все испытания проведены на волне отрицательной полярности.

Измерения показали, что при указанных выше геометрических размерах комбинированного делителя сглаживание неоднородности является недостаточным. Это обстоятельство оказывало на значительную емкостную связь между витками концентрических колонн. Для проверки степени влияния этой емкостной связи внутренняя колонна делителя с диаметром 31 см была заменена на другую с диаметром в 2 раза меньшим 16 см. Эффект сглаживания неравномерности заметно повысился — факт, весьма существенный для конструирования делителей такого типа.

Для получения равномерного распределения напряжения по длине внутренней колонны в данном ее выполнении нужно было несколько сгладить неравномерность на наружной. Необходимое сглаживание было достигнуто в результате применения экранирующих дисков, выполненных из фанеры, обклеенной алюминиевой фольгой. Такая экранировка наиболее легко выполнима и удобна. Дискон обе колонны просто накрывались. На рис. 3 представлены кривые практически прямолинейного распределения напряжения вдоль наружной (кривая 1) и вдоль внутренней (кривая 2) колонн при диаметре внутренней колонны 31 см и диске диаметром 3,0.

Почти прямолинейного распределения на внутренней колонне удалось получить и при экранирующем диске диаметром 1,5 м, но при внутренней колонне диаметром 16 мм, оказанное на рис. 4.

Для выяснения искажаемости делителем формы волны производилось осциллографирование волн импульсного генератора и записанная форма волны сравнивалась с формой, полученной согласно формуле:

$$U(t) = A \left[ e^{-\alpha t} - e^{-\beta t} \left( \cos \omega t + \frac{\beta - \alpha}{\omega} \sin \omega t \right) \right],$$

где  $\alpha, \beta$  и  $\omega$  — функции постоянных  $L, C_1, C_2, R_1$  и  $R_2$ . На рис. 5 показаны осциллограммы, записанные при делении напряжения колоннами, накрытыми экранирующим диском диаметром 3 м (рис. 2). Осциллограмма I снята при делении наружной колонной и II и III — внутренней. Период градиентных колебаний I и II — 2 мкс, а для III — 0,4 мкс. Расчетные точки нанесены крестиками. Можно заметить, что искажения записанной волны при делении внутренней колонны невелики. Записанный и вычисленный фронт волны на осциллограмме III отличается приблизительно только на 7 мкс. Из этих осциллограмм видно, что часть волны от 10 мкс, т. е. участок, наиболее ценный для практических работ, передается внутренней колонной делителя почти искажений. Нужно напомнить, что распределение напряжения по длине этой колонны — равномерное (рис. 3), и то обстоятельство, что даже и здесь получаются некоторые незначительные отклонения от расчетных данных, говорит о наличии побочных влияний, от которых не вполне свободна даже внутренняя колонна. Для наружной колонны эти влияния, конечно, должны сказываться в значительно большей степени. Последнее иллюстрируется осциллограммой I. Несмотря на то, что неравномерность распределения напряжения по длине наружной колонны сравнительно невелика, искажения записи получились значительные. Записанный фронт волны, например, получился около 1,5 мкс. Из всего этого можно заключить, что при делении напряжения только одной колонной даже и при наличии равномерного распределения не имеет место искажения, природу которых, по всей вероятности, следует искать в электростатическом влиянии генератора.

Испытания, проведенные с новым типом омического высоковольтного делителя, состоящего из двух концентрических колонн, безиндукционно обмотанных, показали, что можно сравнительно легко добиться равномерного распределения напряжения по длине внутренней колонны и что записанные

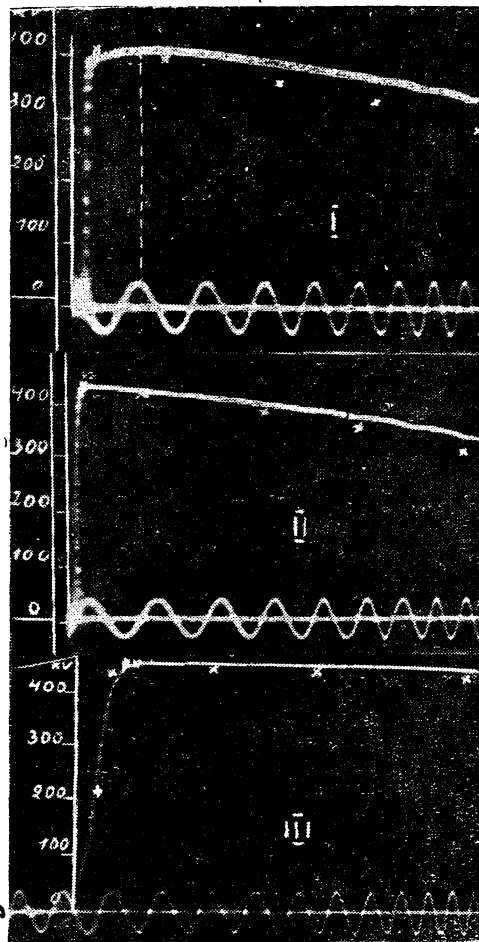


Рис. 5. Осциллограммы формы волны, снятые при делении напряжения наружной (осциллограмма I) и внутренней (II и III) колоннами делителя, накрытых экранирующим диском  $d = 3$  м. Крестиками нанесены расчетные точки

катодным осциллографом формы волн оказываются близко совпадающими с расчетными. Техническое выполнение такого типа делителя получается простым и общедоступным. Существенную помощь в данной работе и ценные указания автор получил от проф.-доктора техн. наук А. А. Горева и проф. А. М. Залесского.

#### Литература

1. Raske. Arch. f. El., стр. 653, № 10, 1937.
2. Thomas. El. Eng., стр. 169, Jan. 1934.

## Одноударная импульсная прочность конденсаторной пропитанной маслом бумаги<sup>1</sup>

И. К. ФЕДЧЕНКО

Киевский индустриальный институт

Нестационарные процессы в сети, воздействуя на диэлектрик конденсатора, могут привести к пробое его изоляции. В связи с этим возникла потребность в изучении импульсной прочности конденсаторной бумаги.

<sup>1</sup> Работа выполнена по заданию Киевского завода электро-технической аппаратуры.

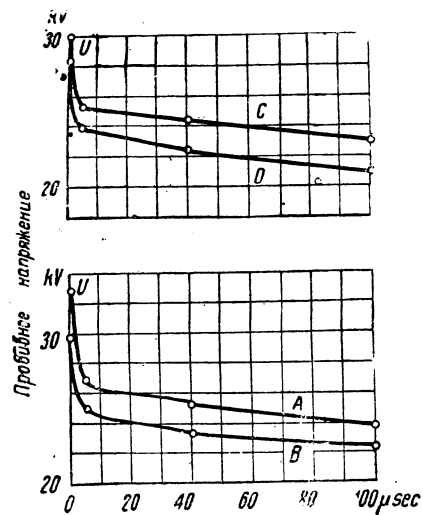


Рис. 1. Одноударная импульсная прочность в зависимости от длины волны. Кривые А и В — для волны отрицательной полярности соответственно для сжатия  $P$ , равного 1,8 и 0,6 кг/см<sup>2</sup>; С и D — волна положительной полярности, значения сжатия те же

В статье изложены результаты исследования одноударной импульсной прочности бумаги. По вопросу о многоударной импульсной прочности конденсаторной бумаги в настоящей уже было опубликовано одно исследование.

Исследования проводились с волнами длиной волны 1 ÷ 1,5 мкс, 40 и 100 мкс. Испытанию были подвергнуты образцы из 11 листов конденсаторной бумаги производства Малинской бумфабрики УССР с толщиной отдельного листа 11 м при общей толщине изоляции между фольговыми обкладками в 0,12 мм. Поверхностный разряд был исключен путем увеличения полей бумаги, свободных от фольги. Все образцы прошли нормальный технологический процесс и вакуумную обработку (продолжительность около 140 ч), были сжаты в струбцинах и погружены в трансформаторное масло, соответственно обработанное.

Для определения коэффициента импульса для некоторых образцов определили пробивные напряжения при 50 Гц для различной степени сжатия образцов:  $P=0,6$ ; 1,8 и 0,001 кг/см<sup>2</sup>. Исследования показали, что пробивные напряжения при 50 Гц до определенного предела сжатия бумаги возрастают. Установление этого факта существенно для правильной постановки технологического процесса сборки секций конденсатора.

При исследовании одноударной импульсной прочности бумаги пробой образца контролировался после каждого импульса. Точки построенных зависимостей получены при испытании не менее 5 образцов бумаги.

На рис. 1. представлены результаты экспериментального определения одноударной импульсной прочности при различной форме импульсной волны. Как видно из рисунка, колебания величины импульсного пробивного напряжения в зависимости от степени сжатия образцов оказались небольшими.

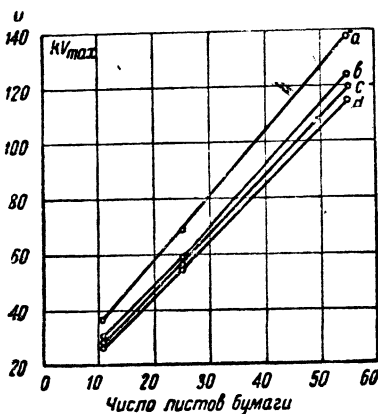


Рис. 2. Одноударная импульсная прочность в зависимости от числа листов бумаги при отрицательной полярности волны. Кривые а, б, с, d соответствуют волнам: 1; 5; 40 и 100 мкс

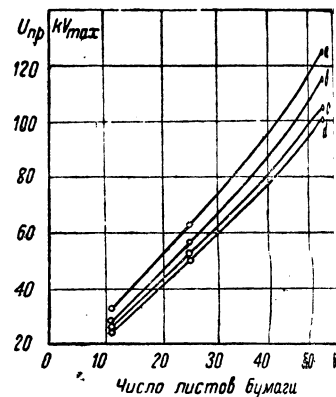


Рис. 3. Одноударная импульсная прочность в зависимости от числа листов бумаги при положительной полярности волны. Кривые а, б, с и d соответствуют волнам: 1; 5; 40 и 100 мкс

Далее, из рис. 1 видно, что импульсное пробивное напряжение в диапазоне стандартных волн длиной в 5 и 40 мкс изменяется сравнительно мало.

Для построения приведенных зависимостей было испытано 100 образцов секций. Физические процессы, объясняющие эффект полярности при импульсном пробое, здесь не рассматриваются.

Коэффициенты импульса для конденсаторной пропитанной маслом бумаги в зависимости от формы волны положительной полярности приведены в табл. 1.

Исследование зависимости одноударной импульсной прочности от толщины бумаги было произведено на образцах с числом листов 11, 25 и 55 (т. е. при толщине диэлектрика соответственно: 0,12; 0,275 и 0,605 мм) при сжатии  $P=0,5$  кг/см<sup>2</sup>. Пробивные напряжения при частоте в 50 Гц представлены в табл. 2.

Таблица 2

Число листов бумаги	Пробивное напряжение $kV_{max}$	Градиент $kV_{max}$ на 1 лист
11	21,85	1,98
25	40,89	1,63
55	79,6	1,43

Пробивные напряжения в табл. 2 взяты как средние значения из пяти показаний.

На рис. 2 и 3 представлены кривые одноударной импульсной прочности в зависимости от числа листов бумаги при  $P=0,5$  кг/см<sup>2</sup> для волн различной длины.

Результаты исследования одноударной импульсной прочности конденсаторной пропитанной маслом бумаги позволяют при проектировании правильно обосновать выбор запаса прочности с учетом воздействия волн перенапряжений.

Таблица 1

Длина волны, мкс	Пробивное напряжение при 50 Гц $kV_{max}$	Коэффициент импульса	
		$P=0,6$ кг/см <sup>2</sup>	$P=1,8$ кг/см <sup>2</sup>
1	18,3	1,55	1,33
5	При $P=0,6$ кг/см <sup>2</sup>	1,31	1,13
40	22,6	1,23	1,1
100	При $P=1,8$ кг/см <sup>2</sup>	1,15	1,02

## Основы теории преобразователя частоты нового типа

М. М. ТАРАЩАНСКИЙ

Харьковский электротехнический институт

За последние годы в США применяется новый тип преобразователя частоты, предназначенный для получения повышенных частот (100—300 Гц) при небольших мощностях. Этот преобразователь частоты — весьма простой по конструкции и надежный в эксплуатации, основан на принципе изменения магнитного поля в воздушном зазоре [1, 2, 3].

В литературе нет сведений о теории работы и данных исследования таких преобразователей. Поэтому представляется интерес хотя бы кратко изложить основные теоретические

мощности работы таких преобразователей и экспериментальные данные исследования пробного образца, построенного в Харьковском электротехническом институте для преобразования частоты сети 50 Hz в утреннюю частоту 50 Hz).

Рассмотрим теорию в общем виде.

Пусть отношение первичной частоты ко вторичной равно  $\left(\frac{f_k}{f_1} = k\right)$ . Тогда, если первичная обмотка имеет  $2p_1$  полюсов, вторичная должна быть выполнена с  $2p_1 k$  полюсами. При питании первичной обмотки переменным трехфазным током ротор преобразователя, который имеет явно выраженные полюса той или другой формы, вращается синхронно на принципе реактивного синхронного двигателя. Выделенная в поле гармоника индуцирует во вторичной обмотке статора повышенную частоту.

При холостом ходе преобразователя по вторичной обмотке ток не протекает.

Линейная плотность тока первичной обмотки при холостом ходе в осях, связанных с ротором, т. е. синхронно вращающихся в пространстве, может быть выражена уравнением:

$$f_{10}(x) = A_{10} \cos \frac{\pi}{\tau_1} x, \quad (1)$$

где амплитуда линейной плотности тока

$$A_{10} = \frac{\sqrt{2} m_1 \xi_{11} \omega_1}{p_1 \tau_1} I_{10}. \quad (2)$$

Здесь  $I_{10}$  — эффективное значение тока холостого хода;  $m_1$  — число фаз первичной обмотки;  $\xi_{11}$  — обмоточный коэффициент первичной обмотки (для основной волны);  $\omega_1$  — число витков в фазе первичной обмотки;  $p_1$  и  $\tau_1$  — число пар полюсов и полюсное деление первичной обмотки.

Предполагая, что конфигурация воздушного зазора такова, что в магнитном поле имеет место только первая и выделенная гармоники, т. е. что пространственное распределение индукции записывается уравнением:

$$B(x) = B_1 \sin \frac{\pi}{\tau_1} x + B_k \sin k \frac{\pi}{\tau_1} x, \quad (3)$$

найдем выражение для проводимости воздушного зазора, который обеспечивает заданную форму кривой индукции. Для этого воспользуемся законом магнитной цепи:

$$\frac{B(x)}{L(x)} = 0,4\pi \int_0^x f_{10}(x) dx, \quad (4)$$

где  $L(x)$  назовем функцией проводимости воздушного зазора.

Подставляя в (4) значение  $f_{10}(x)$  из (1) и выполнив интегрирование, получим

$$L(x) = \frac{B_{10}}{0,4\tau_1 A_{10}} \left( 1 + b_k \frac{\sin k \frac{\pi}{\tau_1} x}{\sin \frac{\pi}{\tau_1} x} \right), \quad (5)$$

где  $b_k = \frac{B_k}{B_1}$  — амплитуда выделенной гармоники поля / амплитуда первой гармоники поля.

Налагая на  $L(x)$  те или другие граничные условия, можем избавиться от неизвестных величин  $B_{10}$  и  $A_{10}$ .

Так например, полагая для  $x=0$ ,  $L(x) = \frac{1}{\delta_0}$  и для  $x = \frac{3\tau_1}{2k}$ ,  $L(x) = 0$ , получим для  $L(x)$  выражение:

$$L(x) = \frac{1}{\delta_0 c_k} \left( 1 + b_k \frac{\sin k \frac{\pi}{\tau_1} x}{\sin \frac{\pi}{\tau_1} x} \right), \quad (6)$$

где  $c_k = 1 + b_k$ .

По уравнению (6) можно рассчитать конфигурацию воздушного зазора [4], а по промежуточному выражению  $\frac{B_{10}}{0,4\tau_1 A_{10}} = \frac{1}{\delta_0 c_k}$ , полученному из граничных условий, и по выра-

жению (2) для  $A_{10}$  можем найти следующее выражение реактивной составляющей тока холостого хода для неравномерного воздушного зазора:

$$I_{\mu\delta} = 1,77 p_1 \frac{B_{10} \delta_0 c_k}{m_1 \xi_{11} \omega_1}. \quad (7)$$

Экспериментальные данные подтвердили приведенный способ расчета реактивной составляющей тока холостого хода.

При нагрузке по вторичной обмотке преобразователя протекает ток повышенной частоты, который создает свою м. д. с., вступающую во взаимодействие с м. д. с. первичной обмотки.

Физическим условием работы преобразователя является отсутствие момента нагрузки на его валу, вне зависимости от характера нагрузки вторичной цепи. Однако при протекании по вторичной обмотке активного тока происходит сдвиг ротора в пространстве по сравнению с его положением при холостом ходе, так как результирующее поле в пространстве сдвигается, а ротор по отношению к результирующему полю всегда занимает такое положение, при котором проводимость для потока оказывается максимальной.

При чисто реактивной нагрузке вторичной цепи сдвиг ротора не имеет места, что подтвердилось осциллограммами, снятыми при активной и реактивной нагрузке преобразователя рис. 1, а и б.

При нагрузке линейные плотности тока первичной и вторичной обмоток в осях, связанных с ротором, могут быть выражены так:

$$f_1(x) = A_1 \cos \left( \frac{\pi}{\tau_1} x + \Theta_1 \right); \quad (8)$$

$$f_k(x) = A_k \cos \left( k \frac{\pi}{\tau_1} x + \Theta_k \right), \quad (9)$$

где  $\Theta_1$  и  $\Theta_k$  — углы в электрических градусах первичной обмотки, образованные векторами линейных плотностей первичного и вторичного токов с поперечной осью ротора. Результирующая м. д. с.

$$F(x) = 0,4\pi \left( \int_0^x f_1(x) dx + \int_0^x f_k(x) dx \right), \quad (10)$$

а индукции в воздушном зазоре

$$B(x) = L(x) F(x). \quad (11)$$

Подставив в (11) вместо  $L(x)$  значение по (6), а вместо  $F(x)$  выражение (10), в котором выполнено интегрирование правой части, после подстановки (8) и (9) найдем выражение для индукции, разложив синусы суммы двух углов:

$$B(x) = 0,4\tau_1 \left( A_1 \cos \Theta_1 L(x) \sin \frac{\pi}{\tau_1} x + A_1 \sin \Theta_1 L(x) \cos \frac{\pi}{\tau_1} x + \frac{A_k}{k} \cos \Theta_k L(x) \sin k \frac{\pi}{\tau_1} x + \frac{A_k}{k} \sin \Theta_k L(x) \cos k \frac{\pi}{\tau_1} x \right). \quad (12)$$

С другой стороны,  $B(x)$  может быть записана в виде ряда Фурье:

$$B(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \sin nx + b_n \cos nx), \quad (13)$$

в котором коэффициенты выражаются известными формулами:

$$\left. \begin{aligned} a_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} B(x) \sin nx dx, \\ b_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} B(x) \cos nx dx. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Коэффициенты Фурье после подстановки  $B(x)$  найдутся, как

$$\left. \begin{aligned} a_n &= 0,4\tau_1 \left( A_1 \cos \Theta_1 \alpha_{1n} + \frac{A_k}{k} \cos \Theta_k \alpha_{kn} \right), \\ b_n &= 0,4\tau_1 \left( A_1 \sin \Theta_1 \beta_{1n} + \frac{A_k}{k} \sin \Theta_k \beta_{kn} \right). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

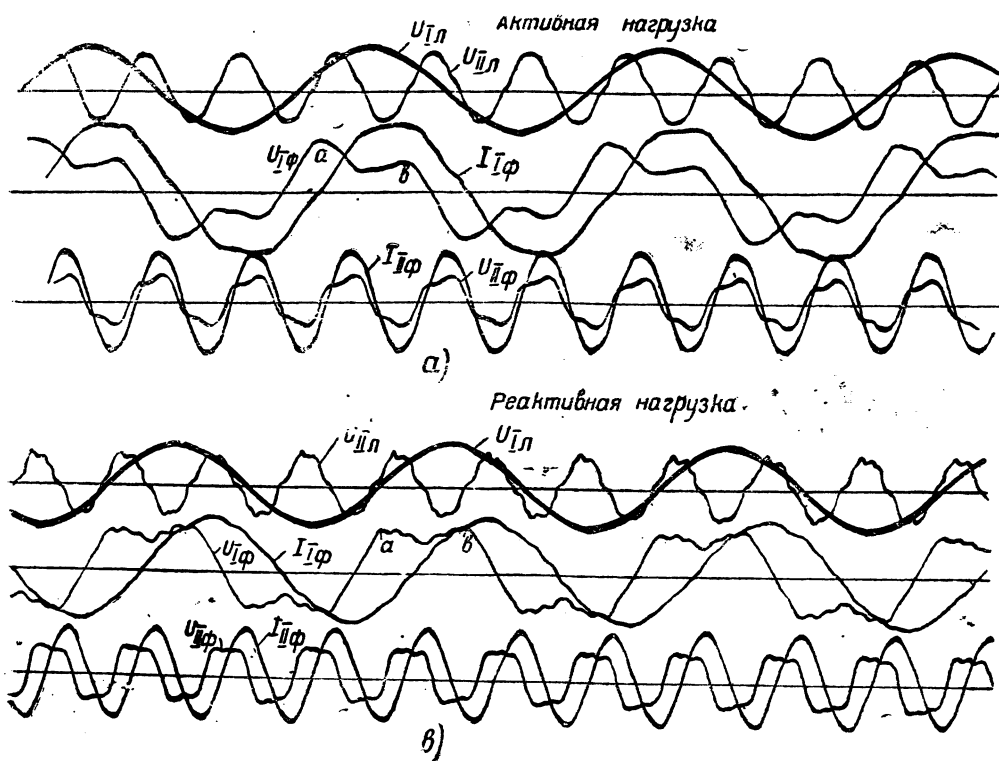


Рис. 1

Здесь  $\alpha_{1n}$ ,  $\beta_{1n}$  и  $\alpha_{kn}$ ,  $\beta_{kn}$  интегралы вита:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{1n} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} L(x) \sin x \sin nx \, dx; \\ \beta_{1n} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} L(x) \cos x \cos nx \, dx; \\ \alpha_{kn} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} L(x) \sin kx \sin nx \, dx; \\ \beta_{kn} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} L(x) \cos kx \cos nx \, dx. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Как показывают теоретические выкладки, а также данные экспериментов (рис. 1), для первичной обмотки можно считать только с первой и  $k$ -й гармониками, а для вторичной только с  $k$ -й гармоникой поля.

Поэтому, подставив в (16) значение  $L(x)$  по (6) и выполнив интегрирование для нечетного значения  $k$ , получим выражения для коэффициентов:  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $a_k$ ,  $b_k$ . Эти коэффициенты дают проекции амплитудных значений индукций первой и  $k$ -й гармоник на продольную и поперечные оси ротора, т. е.

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= B_1 d; & b_1 &= B_{1q}; \\ a_k &= B_{kd}; & b_k &= B_{kq}. \end{aligned} \right\}$$

От индукций нетрудно перейти к э. д. с., исходя из выражений

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= 2\sqrt{2} l_1 \tau f_1 \xi_{11} \omega_1 B_{1q} 10^{-8}; \\ E_k &= 2\sqrt{2} l_1 \tau f_k \xi_{kk} \omega_k B_{kq} 10^{-8}, \end{aligned} \right\}$$

а от амплитудных значений линейных плотностей токов к эффективным значениям токов по (2).

Отсюда получаем связь между э. д. с. и токами. Коэффициенты при токах естественно интерпретировать как реактансы.

Нетрудно найти выражения для этих реактансов. Например, реактанс первичной обмотки по продольной оси выражается формулой:

$$x_{1d} = 1,6 \frac{l_1 \tau_1}{p_1 c \delta_0} f_1 m_1 (\xi_{11} \omega_1)^2 10^{-3} \, \Omega.$$

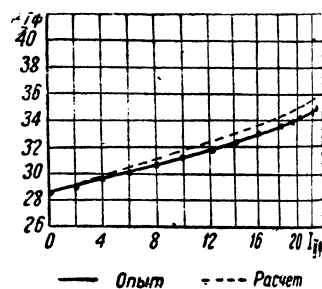


Рис. 2. Зависимость первичного тока от вторичного при реактивной нагрузке

Аналогичными (по структуре) формулами выражаются остальные реактансы.

Полагая, что при реактивной нагрузке (по вторичной обмотке протекает только продольный ток) и даже при коротком замыкании вторичной обмотки первая гармоника поля остается неизменной, не трудно найти для продольного э. д. с. связь между токами:

$$I_1 = I_{10} + \frac{x_{1kd}}{x_{1d}} I_{kd}.$$

На рис. 2 приведена расчетная и опытная характеристика токов.

Изложенная теория как с качественной, так и с количественной стороны была подтверждена полученными при исследовании пробного образца экспериментальными данными.

### Литература

1. A. W. Forbes, Simplified Frequency Changer El. World January 23, 1932.
2. L. E. Hildebrand, Singl Unit Frequency Convertors GER № 5, 1935.
3. М. М. Таращанский, Преобразователи частоты, основанные на принципе искажения магнитного поля, Вестник электропромышленности № 8, 1939.
4. М. М. Таращанский, К теории преобразования частоты путем выделения из кривой поля вращающихся машин высших гармонических. Сборник научно-технических статей Харьковского электротехнического института Вып. VI.

## Сравнение охлаждения генераторов и синхронных компенсаторов при помощи воздуха и водорода

И. А. СЫРОМЯТНИКОВ

Азэнерго

Преимущества и недостатки водородного охлаждения перм воздушным для электрических машин подробно рассмотрены в статье А. И. Бертинова «Электричество» № 2, 1939. Однако в названной статье вопросам теплопередачи уделено недостаточное внимание. Например, увеличение коэффициента теплопередачи от поверхности к газу для водорода составляет действительности не 1,3, а значительно больше, около 1,5. Коэффициент теплопередачи изменяется не пропорционально давлению газа, а в степенной функции с показателем степени  $2/3$ ; влияние уменьшения перегрева водорода на размер газохладителей в действительности невелико (меньшие размеры газохладителей получаются за счет увеличения коэффициента теплопередачи) и т. д.

Ниже приведено сравнение водородного и воздушного охлаждения с точки зрения вопросов теплопередачи.

Как известно, теплопередача при турбулентном движении охлаждающего газа значительно выше, чем ламинарном.

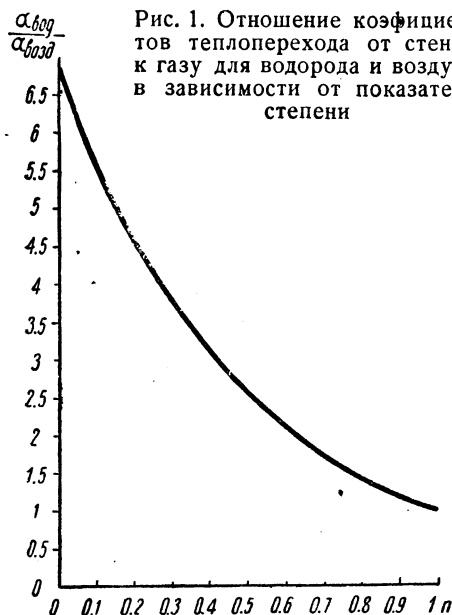


Рис. 1. Отношение коэффициентов теплоперевода от стенки к газу для водорода и воздуха в зависимости от показателя степени

При прочих равных условиях отношения критических скоростей (скорости, при которой движение становится турбулентным) водорода и воздуха:

$$\frac{U_{кр. вод}}{U_{кр. возд}} = \frac{\gamma_{вод}}{\gamma_{возд}} \frac{\mu_{вод}}{\mu_{возд}} = \frac{0,492}{0,07} = 7,05,$$

т. е. при охлаждении водородом турбулентное движение наступает при скорости, превышающей скорость воздуха в 7 раз. Таким образом водород в этом отношении хуже воздуха. Согласно теории теплопередачи при турбулентном движении отношение коэффициентов теплоперевода для водорода и воздуха будет:

$$\frac{\alpha_{вод}}{\alpha_{возд}} = \frac{\lambda_{вод}}{\lambda_{возд}} \left( \frac{\gamma_{вод}}{\gamma_{возд}} \frac{\mu_{вод}}{\mu_{возд}} \right)^n \left( \frac{U_{вод}}{U_{возд}} \right)^2, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — теплопроводность;  $\gamma$  — удельный вес;  $\mu$  — вязкость. Подставляя числовые значения и формулу (1), получим:

$$\frac{\alpha_{вод}}{\alpha_{возд}} = \frac{6,85}{7,05^n} \left( \frac{U_{вод}}{U_{возд}} \right)^2.$$

На рис. 1 дано изменение отношения  $\frac{\alpha_{вод}}{\alpha_{возд}}$  в зависимости от показателя степени  $n$ . Из рассмотренной кривой следует, что при  $n=1$  никакого улучшения в коэффициенте теплоперевода в результате применения водорода вместо воздуха нет и даже имеется некоторое ухудшение. По мере уменьшения показателя степени соотношение для водорода становится более благоприятным.

Для обмоток электрических машин можно принять показатель степени  $n$  таким же, как и для случая теплопередачи трубок. По новейшим исследованиям<sup>1</sup> ЦКТИ показатель степени для шахматных пучков в среднем равен 0,63; для спиральных 0,686; для смешанных  $n=0,7$ . В среднем можно принять  $n=0,67=\frac{2}{3}$ . Для этого значения  $n$  — увеличение коэффициента теплоперевода в случае водорода составит (рис. 1) 1,87 при сохранении одной и той же скорости. При условии сохранения коэффициента теплоперевода водорода таким же, как и для воздуха, в случае турбулентного движения, скорость, а следовательно, и расход газа может быть уменьшен почти в 2,5 раза:

$$\frac{U_{вод}}{U_{возд}} = \left( \frac{1}{1,87} \right)^{3/2} = 0,393.$$

Рассмотрим влияние давления.

При увеличении давления возрастает удельный вес, а следовательно, коэффициент теплоперевода будет увеличиваться пропорционально давлению в степени  $\frac{2}{3}$ . При увеличении давления вдвое коэффициент теплоперевода увеличивается в  $2^{2/3}=1,59$  при сохранении той же скорости. Критическая скорость уменьшится при этом в 2 раза.

<sup>1</sup> Инж. В. М. Антуфьева и Л. С. Казаченко. Теплопередача и сопротивление конвективных поверхностей нагрева. Изд. ОНТИ, 1938.

Теплопередача в электрических машинах происходит путем теплопроводности и конвекции. При отсутствии в изоляции газовых включений, например, для компаундированных обмоток, эффективность повышения теплопередачи при охлаждении водородом будет зависеть от соотношения между отдельными тепловыми сопротивлениями. Если принять, что тепловое сопротивление изоляции составляет 30% от общего теплового сопротивления при охлаждении воздухом, то в этом случае при переходе к водородному охлаждению общее тепловое сопротивление уменьшается в  $30 + \frac{70}{1,87} = 67,5\%$ .

Таким образом при одном и том же перегреве потери могут быть увеличены на 48%, а мощность немного больше, чем на 20%. Большое повышение мощности может быть достигнуто в случае плохо пропитанной изоляции, имеющей значительное количество воздушных включений. Таким образом чем хуже изоляция обмотки, тем больше может быть повышена мощность при переходе от воздушного к водородному охлаждению. Более благоприятные условия при охлаждении воздухом получаются также за счет уменьшения нагрева, вследствие трения частиц газа, которое при охлаждении водородом будет на много меньше, чем при охлаждении воздухом.

Крайне важно точно определить перегрев изоляции, так как при преуменьшении этого перегрева переход к водородному охлаждению с повышением мощности может вызвать перегрев обмотки больше допустимого.

Рассмотрим работу газоохладителей.

Работа охладителей при охлаждении электрической машины воздухом была в другой работе подробно рассмотрена автором<sup>2</sup>. Зависимость между температурой охлажденного газа при выходе из охладителя от параметров его может быть выражена формулой:

$$t_{хол. вод} = t_{хол. возд} + \tau_{вод. В} = t_{хол. возд} + \tau_{вод} \frac{1-A}{A},$$

где  $\tau_{вод}$  — перегрев водорода, т. е. разность между температурой входящего (горячего) и выходящего (холодного) из охладителя водорода;  $A$  и  $B$  — коэффициенты, характеризующие качества охладителя. Чем меньше эти коэффициенты, тем лучше работа охладителя.

Для сравнения работы охладителя при охлаждении водородом и воздухом рассмотрим влияние отдельных факторов. Улучшение работы охладителей вследствие уменьшения перегрева  $\tau_{вод}$  скажется незначительно, так как коэффициент  $B$  очень невелик. Например, по ОСТ при температуре воды 28° охлажденный газ должен иметь температуру 35°. Следовательно,  $\tau_{водВ}$  будет составлять всего лишь 7°. Изменение перегрева  $\tau_{вод}$  с 30 до 20° понизит температуру газа примерно на 2°. При сохранении той же температуры охлажденного водорода поверхность охладителей может быть уменьшена всего лишь на 17,5%.

Из теории теплопередачи известно, что для случая передачи тепла от газа к воде через стенку наибольшее значение имеет коэффициент теплоперевода от газа к стенке. Выше было определено, что коэффициент теплоперевода при водороде в 1,87 раза выше, чем при охлаждении воздуха. Таким образом при сохранении одной и той же скорости и расхода поверхность охладителя может быть уменьшена на 87%. При этом соответственно уменьшится и расход воды. При повышении давления водорода поверхность охладителя будет еще меньше.

### Литература

1. Ша к. Теплопередача в промышленных установках.
2. Гребер. Введения в теорию теплопередачи.
3. Тен-Бож. Теория теплопередачи.
4. Яблонский и Шумилов. Практический курс теплопередачи.

## О косвенном индивидуальном возбуждении гидрогенераторов

В. Н. ЛЕБЕДЕВ  
Днепроэнерго

При сильных к. з. в сети наблюдается явление торможения асинхронного двигателя возбуждательного агрегата гидрогенератора. Для случая питания асинхронного двигателя от главного генератора явление это было исследовано Т. J. Woth [1]. Для Днепровского гидрогенератора, снабженного системой косвенного индивидуального возбуждения, переходный про-

<sup>2</sup> «Воздухоохладители генераторов», «Электрические станции» № 1, 1937.



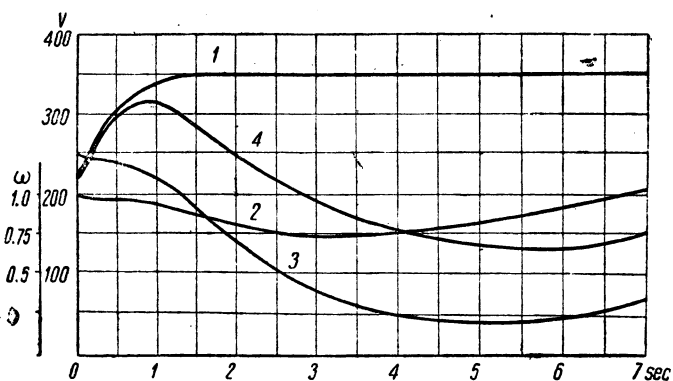


Рис. 1. Изменение напряжения на зажимах возбuditеля и подвозбудителя

цесс всего агрегата в целом с большой полнотой был исследован работниками Ленинградского отделения «Гидроэнергопроекта» [2].

В статье излагаются некоторые дополнительные соображения, несколько расширяющие картину переходного процесса возбuditельного агрегата гидрогенератора с косвенным индивидуальным возбуждением при к. з. в сети.

**Напряжение на зажимах возбuditеля.** Кривая  $u_n$  рис. 4 работы С. С. Whelchel [4] представляет собой нормальную кривую нарастания напряжения на зажимах возбuditеля при нормальной скорости вращения возбuditельного агрегата. С другой стороны, как видно из рис. 3 ст. В. А. Толвинского и В. И. Иванова [2], кривая  $n_1$  скорость вращения возбuditельного агрегата в аварийном периоде значительно снижается.

Очевидно, что снижение скорости вращения возбuditельного агрегата должно иметь своим следствием снижение напряжения на зажимах как подвозбудителя, так и возбuditеля. Автор, исходя из кривой  $n_1$  рис. 3 [2], с помощью метода последовательных интервалов рассчитал приближенно изменение напряжения на зажимах подвозбудителя и возбuditеля<sup>1</sup>.

Результаты этого расчета представлены на рис. 1. На рисунке: кривая 1 — нарастание напряжения на зажимах возбuditеля при нормальной скорости вращения (кривая эта приведена для сопоставления). Кривая 2 — изменение скорости вращения возбuditельного агрегата в аварийном периоде (кривая  $n_1$  рис. 3 [2]). Скорость выражена в относительных единицах, причем за единицу нами была принята скорость вращения возбuditельного агрегата при номинальной нагрузке гидрогенератора. Кривая 3 — изменение напряжения на зажимах подвозбудителя при изменении скорости вращения возбuditельного агрегата по кривой 2. Кривая 4 — изменение напряжения на зажимах возбuditеля при изменении скорости по кривой 2.

Следует сразу же оговориться, что кривые 3 и 4 следует рассматривать лишь как первое приближение к действительной картине, так как напряжение на зажимах возбuditеля и скорость вращения возбuditельного агрегата взаимно зависимы. И если напряжение на зажимах возбuditеля будет лежать ниже, чем это дает кривая 1, то и скорость вращения будет выше, чем по кривой 2, если отвлечься от прочих влияющих на скорость факторов, о которых речь ниже.

Сопоставление кривых 1 и 4 рис. 1 позволяет высказать следующие соображения.

При трехполюсном к. з. на шинах подстанции Дгэс или в непосредственной близости, вследствие торможения возбuditельного агрегата, напряжение возбuditеля изменяется во времени по кривой, лежащей ниже нормальной кривой нарастания напряжения возбuditеля. С удалением к. з. явление это ослабевает и при некоторой удаленности к. з. практически исчезает.

При несимметричных к. з. торможение асинхронного двигателя будет меньшим по сравнению с трехполюсным к. з. в том же месте в силу того, что обратно синхронное поле статора от токов отрицательной последовательности не дает в цепи ротора проточной составляющей переходного тока.

Пользуясь терминологией В. И. Иванова [3], можно констатировать, что «параметры влета» напряжения возбuditеля незначительно ухудшаются даже при таком сильном к. з., которое рассматривалось в [2].

Таким образом, при нормальной работе основной релейной защиты условия динамической устойчивости практически не ухудшаются. Поэтому в обычных расчетах динамической устойчивости с длительностью к. з. порядка 0,5–0,6 сек можно пользоваться нормальной кривой нарастания напряжения возбuditеля.

В восстановительном периоде, после отключения к. з. при нормальной работе основной релейной защиты, в силу противоположного характера ответной реакции цепи ротора гидрогенератора, — асинхронный двигатель возбuditельного агрегата в значительной мере разгружается и восстанавливает скорость.

Для случаев же, подобных разбираемому в [2], с длительностью к. з. в 7,5 sec, явление торможения двигателя и снижения напряжения возбuditеля скажется в полной мере. И с этой точки зрения, строго говоря, кривые рис. 3 и 4 нуждаются в корректировке. В частности, затухание тока будет больше, чем это дает кривая  $J$  рис. 4 [2].

Исходя из вышеизложенного, можно сказать, что при нормальной работе основной релейной защиты явление торможения двигателя возбuditельного агрегата не успеет развиваться сколько-нибудь ощутительно. При рассмотрении же работы страховочных защит это явление, равно как и снижение напряжения возбuditеля, необходимо учитывать.

В связи с этим нам представляется, что торможение двигателя возбuditельного агрегата не представляет особой неприятности.

**О влиянии актюатора.** Из рассмотрения кривой  $n_1$  рис. 3 с очевидностью вытекает, что в работе Ленгидэп [2] при этом мало, что актюатор не работает.

Если для данной конкретной аварии, разбираемой в [2], это и имело место, то в общем случае необходимо рассмотреть влияние актюатора при правильной его работе в переходном процессе гидрогенератора, так как при этом условии работы двигателя возбuditельного агрегата ухудшаются.

Действительно, обработка осциллограмм опытов сброса нагрузки при приемочных испытаниях главного агрегата показывает, что при сбросе нагрузки в 58,9 MW почти полной грузки превышение скорости вращения главного агрегата достигает максимума в 16% от 2,5 sec, падая затем до почти равномерности.

Таким образом даже при трехполюсном к. з. на подстанции Дгэс превышение скорости гидрогенератора будет больше 16–18% при исправном актюаторе. А в том случае, если отвлечься от прочих факторов, торможение асинхронного двигателя будет большим, чем это дается в работе Ленгидэпа [2], так как уменьшается скорость вращения поля, влекущего за собой ротор асинхронного агрегата.

**Об уравнении движения возбuditельного агрегата.** В этих расчетах устойчивости принимается  $M = P$ , где  $M$  — момент и  $P$  — соответствующий момент в относительных единицах.

Равенство численных значений  $M$  и  $P$ , выраженных в относительных единицах, справедливо лишь при скорости близкой к единице. Вообще же  $M = \frac{P}{\omega}$ , где все величины в относительных единицах.

Поэтому в случаях, когда можно ожидать значительного снижения скорости возбuditельного агрегата, уравнение движения его должно составляться с учетом вышеуказанного.

Здесь уместно отметить, что С. С. Whelchel, из фирмы ГЕС, поставившей 5 днепровских гидрогенераторов в своей обзорной статье [4] о направлении развития оборудования гидростанций США указывает, что в последние годы для гидрогенераторов мощностью выше 40000 кВт применяется почти исключительно система прямого индивидуального возбуждения.

## Литература

1. T. J. Woth. A comparison of exciters for water generators. El. J, стр. 343, № 6, 1931.
2. В. А. Толвинский и В. И. Иванов. Трение в системе косвенного индивидуального возбуждения генераторов. Сборник Гидроэнергопроекта, стр. 92, 1938.
3. В. И. Иванов. Быстроотзывчивые возбuditели синхронных гидрогенераторов. «Электричество», стр. 1939.
4. C. C. Whelchel. Trends in the design and arm of electrical equipment in hydraulic Power Plant. El. J, стр. 78, 1938.

<sup>1</sup> Подробно эти расчеты изложены в записках № 33 и № 37 Службы режимов Днепроэнерго.

## Правило площадей и устойчивость синхронных генераторов

Д. А. ГОРОДСКИЙ

Всесоюзный электротехнический институт

В исследовании динамической устойчивости синхронных генераторов широкое применение находит известное правило площадей, согласно которому относительная скорость ротора равна нулю в тот момент, когда площадь замедления делается равной площади ускорения. Это правило, обычно, исходя из упрощающего предположения, действующий на ротор электрический момент остается пропорциональным электрической мощности, независимо от небольших изменений в скорости, которые в действительности имеют место при качаниях машины. Правило это имеет большое значение для практических расчетов и весьма важно установить его справедливость без каких-либо выше допущений.

Предварительно выведем точное уравнение движения ротора.

Обозначим через  $P$  разность между получаемой генератором механической мощностью и отдаваемой им в сеть электрической ( $P = P_m - P_e$ ). Под влиянием этой избыточной мощности генератор получает ускорение и изменяет свою угловую (синхронную) скорость. Если обозначить: среднюю электрическую угловую скорость через  $\omega_0 = 2\pi f$ , угол относительно шин бесконечной мощности  $\delta$  и число пар полюсов  $p$ , то средняя механическая угловая скорость

будет  $\Omega_0 = \frac{\omega_0}{p}$  и скорость в произвольный момент времени

$$\Omega = \frac{1}{p} \left( \omega_0 + \frac{d\delta}{dt} \right).$$

Действуя в течение некоторого промежутка времени, избыточная мощность  $P$  дает приращение кинетической энергии:

$$\int P dt = J \frac{\Omega^2}{2} - J \frac{\Omega_0^2}{2} = \frac{J}{2p^2} \left[ 2\omega_0 \frac{d\delta}{dt} + \left( \frac{d\delta}{dt} \right)^2 \right],$$

где  $J$  — момент инерции ротора вместе с вращающимися частями первичного двигателя.

Из этого уравнения, полагая

$$J = M_{\delta az} p^2 \frac{P_{\delta az}}{\omega_0^2},$$

где  $M_{\delta az}$  — „момент инерции в секундах“, — мы получаем следующее уравнение движения ротора в виде:

$$\left( \frac{d\delta}{dt} \right)^2 + 2\omega_0 \frac{d\delta}{dt} = \frac{2\omega_0^2}{M_{\delta az}} \int \frac{P}{P_{\delta az}} dt. \quad (1)$$

Оно дает точный закон движения ротора.

Решая полученное квадратное уравнение относительно угловой скорости  $\frac{d\delta}{dt}$ , мы получаем выражение:

$$\frac{d\delta}{dt} = -\omega_0 + \omega_0 \sqrt{1 + \frac{2}{M_{\delta az}} \int \frac{P}{P_{\delta az}} dt}, \quad (2)$$

в котором перед вторым членом должен быть взят, очевидно, лишь знак плюс, так как при  $J$  (или  $M_{\delta az}$ )  $\rightarrow \infty$  скорость  $\frac{d\delta}{dt}$  должна быть равна нулю.

Путем некоторых упрощений из (2) можно получить и обычно применяющееся более простое выражение. Действительно, дополнительная угловая скорость обычно мала по сравнению с  $\omega_0$ , следовательно, второй член под корнем должен быть мал по сравнению с единицей и потому возможно упрощение:

$$\sqrt{A+B} \approx \sqrt{A} + \frac{B}{2\sqrt{A}},$$

справедливое в тех случаях, когда  $B$  мало по сравнению с  $A$ . В результате такого преобразования мы получаем из (2) хорошо известную приближенную формулу, удобную для практических расчетов.

Из выражения (1) можно исключить независимое переменное  $t$ .

Дифференцируем его по  $t$ :

$$2 \frac{d\delta}{dt} \frac{d^2\delta}{dt^2} + 2\omega_0 \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{2\omega_0^2}{M_{\delta az}} \frac{P}{P_{\delta az}} \quad (3)$$

и выражаем вторую производную следующим образом:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\delta'}{d\delta} \cdot \frac{d\delta}{dt} = \frac{d\delta'}{d\delta} \delta'. \quad (4)$$

После подстановки в (3) и интегрирования по  $\delta$  мы получаем выражение:

$$\frac{(\delta')^3}{3} + \omega_0 \frac{(\delta')^2}{2} = \frac{\omega_0^2}{M_{\delta az}} \int \frac{P}{P_{\delta az}} d\delta, \quad (5)$$

из которого может быть определена скорость  $\delta'$  для любого значения функции, стоящей в правой части.

Выразив затем скорость  $\delta'$  через скольжение  $s$ :

$$\delta' = 360fs \quad (6)$$

и подставив  $\omega_0 = 2\pi f$ , после ряда сокращений для номинальной частоты  $f = 50$  Hz мы получаем:

$$6000 \cdot s^3 + 9000 \cdot s^2 = \frac{1}{M_{\delta az}} \int \frac{P}{P_{\delta az}} d\delta. \quad (7)$$

Непосредственно из (6) может быть определено скольжение  $s$ . Заметим, что в этом выражении, согласно принятому нами определению (5), положительное значение  $s$  соответствует скоростям, превышающим синхронную, отрицательное — скоростям, ниже синхронной.

Пользуясь соотношением (7), можно, решив кубическое уравнение, найти скольжение для любого значения площади

$$A = \frac{1}{M_{\delta az}} \int \frac{P}{P_{\delta az}} d\delta,$$

образуемой кривой избыточных мощностей, построенной в функции угла  $\delta$  (рис. 1).

При равенстве площадок ускорения и замедления интеграл  $\int \frac{P}{P_{\delta az}} d\delta$  обращается в нуль, и скорость  $\delta'$ , согласно уравнению (5) равна нулю.

В этом и заключается правило площадей, причем, так как оно вытекает из совершенно точного уравнения (5), то оно справедливо в самом общем случае — без каких бы то ни было ограничений.

Это обстоятельство заслуживает того, чтобы остановить на нем свое внимание. В частности, оно дает повод высказывать несколько соображений относительно характера тех явлений, которые имеют место при качаниях машин.

Если кривая избыточных мощностей изображается одной и той же линией, независимо от направления движения ротора, — образуемые ею площадки ускорения и замедления остаются неизменными как при движении ротора вперед, так и назад. Поэтому если при движении вперед ротор отклоняется до некоторого угла  $\delta$ , соответствующего равенству площадок ускорения и замедления, то при обратном ходе он должен отклониться до первоначального угла, так как только при нем площадки ускорения и замедления снова будут равны друг другу. В этом случае мы будем иметь незатухающие колебания.

Для затухания же необходимо, чтобы площадки, образуемые кривой электрических мощностей, при каждом изменении направления хода ротора последовательно уменьшались. Это возможно, очевидно, только в том случае, если сама

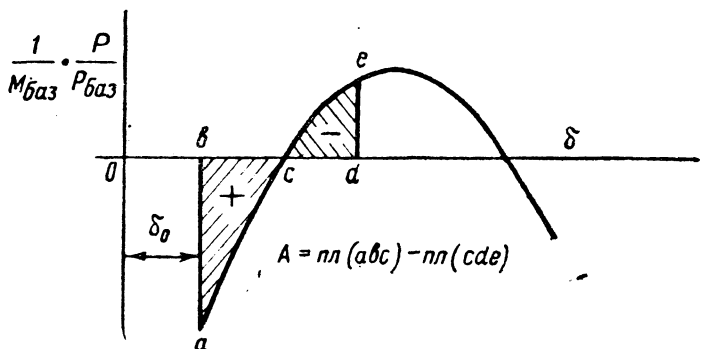


Рис. 1

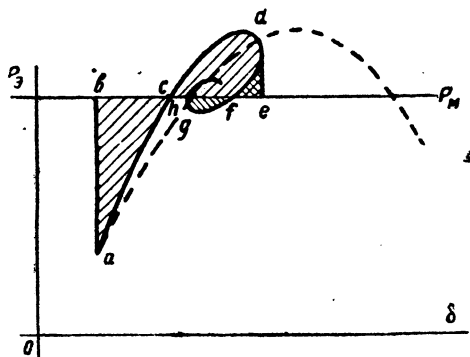


Рис. 2

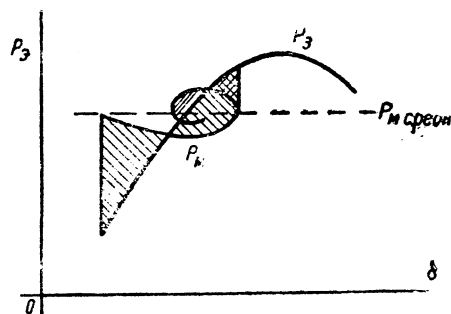


Рис. 3

кривая электрических мощностей видоизменяется таким образом, что ее ветви, соответствующие ходу вперед и назад, не совпадают друг с другом, но имеют примерно такой вид, как показано на рис. 2.

При движении вперед электрическая мощность выражается кривой  $acd$ , и отклонение машины достигает такого угла, при котором площадки  $abc$  и  $cde$  становятся равными друг другу. Дальнейшее движение идет по кривой  $dfe$ , и площадки ускорения и замедления получаются уже равными  $def$  и  $fgh$ . Если они меньше предыдущих, колебания машины затухают.

Кривая рис. 2 позволяет сформулировать основное условие затухания при постоянстве механической мощности — мощность, отдаваемая генератором при ходе вперед, должна быть больше, чем при ходе назад. Следовательно, кривая электрических мощностей должна иметь вид спирали, закручивающейся по часовой стрелке.

Самораскачивание в действительных условиях обычно не наблюдается, и следовательно, динамические процессы протекают по кривым, напоминающим, в простейшем случае, ту, которая представлена на рис. 2.

Причина, почему кривая электрических мощностей принимает такой вид, заключается, главным образом, в том, что при ходе вперед скорость ротора становится больше синхронной, э. д. с., наводимая в статоре, увеличивается и вместе с тем увеличивается развиваемая генератором электрическая мощность. При обратном ходе абсолютная скорость падает, и мощность машины уменьшается.

Эта простая закономерность, однако, осложняется явлениями, вызываемыми наличием переменной частоты и связанными с электромагнитной инерцией в цепях статора и ротора.

Соответственно с этим кривую  $acdfe$  (рис. 2) можно назвать «динамической» характеристикой в отличие от «статической», показанной на рис. 2 пунктиром, и соответствующей бесконечно медленному изменению угла  $\delta$ .

По виду динамической характеристики можно судить, как указано было выше, о возможности самораскачивания машины.

В частности, если задать ротору вынужденные периодические колебания вблизи исследуемой точки и построить динамическую характеристику мощности, характеристика будет иметь вид замкнутой кривой. Площадь, заключенная внутри этой кривой, отнесенная к единице угла отклонения ротора, может характеризовать степень устойчивости генератора в смысле отсутствия у него склонности к самораскачиванию. Для устойчивой работы эта площадь должна быть положительной (окоптана кривой по часовой стрелке).

Следует отметить, что затухание зависит также и от характеристики первичного двигателя. Если даже, например, мыслить, что отдаваемая генератором электрическая мощность строго следует статической кривой, то и в этом случае может иметь место затухание колебаний, если только при мощности, развиваемой первичным двигателем при ходе вперед, меньшей, чем при движении назад. Это положение иллюстрирует рис. 3.

В действительности затухание определяется, конечно, суммарным влиянием динамических характеристик генератора и первичного двигателя. Более того, динамические характеристики нагрузок сети также должны оказывать свое влияние.

В заключение можно констатировать, что правило площадей сохраняет свою силу во всех случаях, однако при его применении следует оперировать площадью, образуемой кривой избыточных мощностей, построенной, исходя из динамических характеристик элементов, составляющих систему. Соображения, высказанные нами относительно затухания колебаний, являются лишь одним из следствий правила площадей.

## Математическая теория шкал круговой диаграммы

Б. А. РОЗЕНФЕЛЬД

Институт математики МГУ

Круговая диаграмма является, как известно, одним из основных средств изучения четырехполюсника, к которому приводится изучение трансформаторов, асинхронных машин и линий электропередачи. Если к первичным зажимам четырехполюсника приложено постоянное по амплитуде синусоидальное напряжение  $\dot{U} = \text{const}$ , а ко вторичным зажимам — импеданс, могущий изменяться в функции некоторого параметра:  $\dot{Z} = \dot{Z}(s)$ , то вектор  $\dot{i}$  первичного тока окажется функцией  $s$ ,  $\dot{i} = \dot{i}(s)$ . Каждая точка кривой  $\dot{i} = \dot{i}(s)$  (диаграммы четырехполюсника) соответствует определенному значению параметра  $s$  образует шкалу диаграммы.

В этой заметке мы рассмотрим шкалу диаграммы четырехполюсника, когда эта диаграмма имеет форму круга (круговая диаграмма). Нашей целью является нахождение значения параметра  $s$  в данной точке диаграммы, если вся шкала неизвестна. Для этой цели мы предложим ряд новых методов и выявим их преимущество перед старыми.

Функции  $\dot{i} = \dot{i}(s)$  и  $\dot{Z} = \dot{Z}(s)$  связаны между собой соотношением:

$$\dot{i} = \dot{U} \frac{\dot{C}\dot{Z} + \dot{D}}{\dot{A}\dot{Z} + \dot{B}}, \quad (1)$$

где  $\dot{U} = \text{const}$  — напряжение на первичных зажимах,  $\dot{A}$ ,  $\dot{B}$ ,  $\dot{C}$ ,  $\dot{D}$  — комплексные постоянные четырехполюсника, иначе говоря, кривая  $\dot{i} = \dot{i}(s)$  в плоскости вектора  $\dot{i}$  является линейным конформным отображением кривой  $\dot{Z} = \dot{Z}(s)$  в плоскости вектора  $\dot{Z}$ , или, в других обозначениях:

$$\dot{i} = \frac{\dot{a}\dot{Z} + \dot{b}}{\dot{c}\dot{Z} + \dot{d}}. \quad (2)$$

Из теории линейных отображений<sup>1</sup> следует, что диаграмма четырехполюсника будет круговой, если кривая  $\dot{Z} = \dot{Z}(s)$  сама будет кругом или прямой.

Если 4 вектора  $\dot{Z}_1$ ,  $\dot{Z}_2$ ,  $\dot{Z}_3$ ,  $\dot{Z}_4$  отображаются преобразованием (2) на 4 вектора  $\dot{i}_1$ ,  $\dot{i}_2$ ,  $\dot{i}_3$ ,  $\dot{i}_4$ , то верно равенство двух таких комплексных чисел:

$$\frac{\dot{Z}_1 - \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3} : \frac{\dot{Z}_4 - \dot{Z}_1}{\dot{Z}_4 - \dot{Z}_2} = \frac{\dot{i}_1 - \dot{i}_3}{\dot{i}_2 - \dot{i}_3} : \frac{\dot{i}_4 - \dot{i}_1}{\dot{i}_4 - \dot{i}_2}. \quad (3)$$

<sup>1</sup> И. И. Привалов. Введение в теорию функций комплексного переменного. Стр. 101, изд. 1938 г.

Если точки  $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3, \dot{Z}_4$  лежат на прямой или круге, то отношения являются действительными числами.

Рассмотрим случай, когда линия  $\dot{Z} = \dot{Z}(s)$  есть прямая и параметр  $s$ , соответствующий точке  $S$ , есть расстояние этой точки  $S$  от начальной точки  $O$ .

Пусть  $P$  — точка, находящаяся от  $O$  на расстоянии 1, а  $R$  — бесконечно удаленная точка прямой  $\dot{Z}(s)$ .

$$s = \frac{\dot{S} - \dot{O}}{\dot{P} - \dot{O}} : \frac{\dot{R} - \dot{S}}{\dot{R} - \dot{P}}, \quad (4)$$

то непосредственно следует из

$$s = \frac{\overline{OS}}{\overline{OP}} : \frac{\overline{SR}}{\overline{PR}}, \quad (5)$$

это уже очевидно:  $\overline{OS} = s$ ,  $\overline{OP} = 1$ , а  $\frac{\overline{SR}}{\overline{PR}}$  при удалении точки  $R$  в бесконечность также стремится к 1.

При отображении (2) вектор  $\dot{O}$  перейдет в  $\dot{O}'$ ,  $\dot{P}$  в  $\dot{P}'$ ,  $\dot{R}$  в  $\dot{R}'$ ,  $\dot{S}$  в  $\dot{S}'$ . Но в силу (3) всего будет:

$$s = \frac{\dot{S}' - \dot{O}'}{\dot{P}' - \dot{O}'} : \frac{\dot{R}' - \dot{S}'}{\dot{R}' - \dot{P}'}. \quad (6)$$

Формула (6) уже дает возможность вычислить значение параметра  $s$  по 4 данным точкам  $\dot{O}'$ ,  $\dot{P}'$ ,  $\dot{R}'$ ,  $\dot{S}'$  круговой диаграммы. Она остается верной и в том случае, когда на прямой  $\dot{Z} = \dot{Z}(s)$ ,  $s$  есть не просто расстояние точки  $S$  от начала  $O$ , но и когда  $s$  — произвольная линейная функция этого расстояния:

$$s = \frac{a\overline{OS} + b}{c\overline{OS} + d}, \quad (7)$$

где  $a, b, c, d$  — действительные постоянные. (Так обстоит дело с круговой диаграммой асинхронной машины, где параметр  $s$  — скольжение — и расстояние  $\overline{OS}$  двух точек на кривой переменного импеданса схемы замещения связаны:  $s = \frac{1}{\overline{OS}}$ .) Причина этого — то, что два линейных преобразования последовательно дают опять линейное преобразование.

Отсюда первое правило для определения значения параметра, соответствующего точке круговой диаграммы: надо найти (аналитически по формуле (1), или графически, по круговой диаграмме) выражения 4 комплексных чисел  $\dot{O}'$ ,  $\dot{P}'$ ,  $\dot{R}'$ ,  $\dot{S}'$  (их компонент) и составить отношение (6). Три

вектора  $\dot{O}'$ ,  $\dot{P}'$ ,  $\dot{R}'$ , служащие для определения параметра, соответствующего произвольному вектору, можно назвать базисными векторами.

Отсюда легко вывести другой, практически более удобный способ определения значения параметра в точке круговой диаграммы. Оказывается, что, имея круговую диаграмму с базисными векторами  $\dot{O}'$ ,  $\dot{P}'$ ,  $\dot{R}'$  и данной точкой  $\dot{S}'$ , достаточно измерить линейкой длины хорд  $\overline{O'S'}$ ,  $\overline{O'P'}$ ,  $\overline{S'R'}$ ,  $\overline{P'R'}$  и тогда:

$$s = \frac{\overline{O'S'}}{\overline{O'P'}} : \frac{\overline{S'R'}}{\overline{P'R'}}. \quad (8)$$

Отсюда же следует хорошо известный<sup>2</sup> способ определения значения параметра в точке круговой диаграммы "на базе любой точки круговой диаграммы". Возьмем произвольную точку круга  $Q$ . Тогда, если пересечь 4 прямые  $QO'$ ,  $QP'$ ,  $QR'$ ,  $QS'$  произвольной прямой  $O''R''$ , то легко доказать, что

$$\frac{\overline{O''S''}}{\overline{O''P''}} : \frac{\overline{S''R''}}{\overline{P''R''}} = \frac{i_1 - i_3}{i_1 - i_4} : \frac{i_2 - i_3}{i_2 - i_4} = s. \quad (9)$$

Если провести прямую  $O''P''$  параллельно  $QR'$ , то точка  $R''$  удалится в бесконечность, отношение  $\frac{\overline{S''R''}}{\overline{P''R''}}$  при этом будет стремиться к 1 и в пределе:

$$s = \frac{\overline{O''S''}}{\overline{O''P''}}. \quad (10)$$

На прямой  $O''P''$  будет равномерная шкала. Если взять в качестве точки  $Q$  точку  $O$ , то мы получим способ определения параметра в точках шкалы, предлагаемый в обычных учебниках асинхронных машин.

Для получения новых свойств шкал круговых диаграмм, рассмотрим линейное конформное отображение вектора тока  $\dot{I}$  на некоторый другой вектор  $\dot{I}'$ , причем мы мысленно совместим плоскости  $\dot{I}$  и  $\dot{I}'$ . Это будет преобразование типа:

$$\dot{I}' = \frac{a\dot{I} + b}{c\dot{I} + d}. \quad (11)$$

При этом мы будем интересоваться лишь теми отображениями, которые векторы  $\dot{I}$ , идущие в точки круга диаграммы, переводят в векторы  $\dot{I}'$ , идущие в точки того же круга<sup>3</sup>.

При нашем преобразовании точка  $A$  круга перейдет в другую точку круга  $A'$ . Если точка  $A$  старой, например, шкалы соответствовала значению параметра  $s$ , то точка  $A'$  в той же шкале соответствует значению  $s'$  (в новой шкале, основанной на новых базисных точках, она, очевидно, соответствует значению  $s$ , а не  $s'$ ). При этом  $s$  и  $s'$  связаны соотношением:

$$s = \frac{as + b}{cs + d}, \quad (12)$$

так как они связаны цепью линейных преобразований. При этом оба числа  $s$  и  $s'$ , а следовательно, и коэффициенты — действительные числа.

Из формулы (11) видно, что при таком преобразовании векторов существуют два вектора  $\dot{I}$  — решения квадратного уравнения:

$$\dot{I} = \frac{a\dot{I} + b}{c\dot{I} + d}, \quad (13)$$

которые совпадают с соответствующими им векторами (двойные векторы). Концы их могут лежать на неизменном круге или быть один внутри, а другой — вне его (тогда они должны переводиться друг в друга инверсией относительно круга). Если мы составим отношение типа (4) для каждого из двойных векторов с базисными векторами  $\dot{O}$ ,  $\dot{P}$ ,  $\dot{Q}$ , то мы получим два числа  $s$ , которые в первом случае будут действительными, а во втором — комплексно-сопряженными; это и будут решения квадратного уравнения:

$$s = \frac{as + b}{cs + d}, \quad (14)$$

<sup>2</sup> См. например, О. С. Брагстад, Теория машин переменного тока. КУБУЧ, стр. 304, 1933.

<sup>3</sup> Теория линейных преобразований с неизменным кругом — см. цит. книгу Привалова, стр. 117.

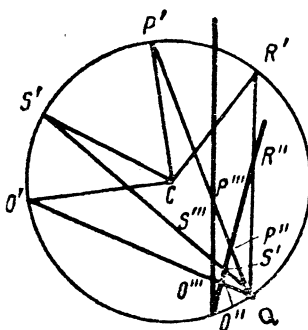


Рис. 1

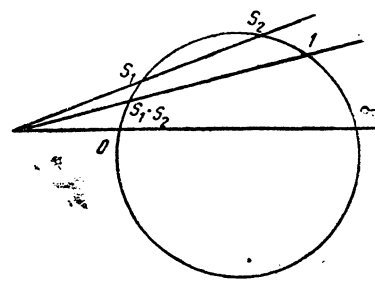


Рис. 2

значения параметра  $s$ , соответствующие двойным векторам. Для каждого соответствия существует некоторая прямая — «линия соответствия». В том случае, когда концы двойных векторов лежат на круге, линия соответствия есть прямая, соединяющая эти точки.

С помощью простых вычислений можно доказать такой интересный и важный для нас факт: если при соответствии вектор  $\vec{A}$  с концом на круге диаграммы переходит в вектор  $\vec{A}'$ , а вектор  $\vec{B}$  с концом на том же круге переходит в вектор  $\vec{B}'$ , то всегда две прямые  $\vec{AB}'$  и  $\vec{A'B}$  пересекаются на линии соответствия (это позволяет, зная пару соответственных векторов  $\vec{A}$  и  $\vec{A}'$  и линию соответствия, строить для всякого  $\vec{B}$  соответствующий ему вектор  $\vec{B}'$ ).

Рассмотрим, в частном случае, умножение  $s' = a \cdot s$ . На шкале имеются две двойные точки:  $s = 0$  и  $s = \infty$  (рис. 2), так как  $a \cdot 0 = 0$  и  $a \cdot \infty = \infty$ . Линией соответствия (линией умножения) является прямая, соединяющая точки  $s = 0$  и  $s = \infty$ . Если известны точки  $s_1$  и  $s_2$ , то легко построить точку  $s_1 \cdot s_2$ . Для этого рассмотрим отображение  $s = s_1$  и приложим его к двум точкам  $s = 1$  и  $s = s_2$ . Очевидно, в этих случаях  $s' = s_1$  и  $s' = s_1 \cdot s_2$ . Тут мы имеем одну пару известных соответственных точек ( $1$  и  $s_1$ ) и хотим найти точку  $s_1 \cdot s_2$ , соответствующую известной  $s_2$ . По изложенной теории для этого надо соединить  $s_1$  и  $s_2$  прямой и точку пересечения этой прямой с линией умножения соединить с  $1$ .

Точка, в которой последняя прямая пересечет круг, и будет искомым  $s_1 \cdot s_2$  (см. рис. 2).

Если производить эти действия в обратном порядке, мы можем геометрически делить числа. Читатель может сам научиться геометрически складывать, вычитать, возводить в квадрат, извлекать квадратные корни, удваивать, делить пополам. Самостоятельно он может также доказать, что если из одной точки линии умножения провести две касательные к кругу, то точки прикосновения будут иметь параметры  $s$  и  $-s$  (отсюда метод умножения на  $-1$ ).

Приложим полученные результаты к асинхронным машинам. На круговой диаграмме шкалу образуют скольжения.

Линия, которая у нас служила линией умножения, здесь является также линией моментов. При введении реостата в цепь ротора шкала круговой диаграммы переградуировывается. По физическим условиям точки  $0$  и  $\infty$ , следовательно, линия моментов, остаются неизменными. Значит наша переградуировка есть линейное преобразование с двойными точками  $0$  и  $\infty$  — умножение, все скольжения на диаграмме умножаются на одно и то же число. При изменении омического сопротивления статора тоже происходит линейное преобразование, но уже общего вида.

Рассмотрим, каким образом лучше всего находить скольжение, соответствующее данной точке круговой диаграммы. Если надо найти скольжение одной точки, не интересуясь соседними, то самым простым является способ, даваемый формулой (8): тут не надо проводить никаких линий, а надо просто измерить линейкой 4 отрезка и на счетной линейке подсчитать их отношения.

Если нас интересует скольжение на некотором участке, то удобнее всего построить линию скольжения с равномерной шкалой. Ввиду того, что главным образом в асинхронных машинах нас интересуют малые скольжения, — то общепринятый у наших инженеров способ с построением линии скольжения на базе точки  $0$  является самым неудобным и неточным, так как требует проведения касательной и операций с очень малыми отрезками. Гораздо более удобен общий способ по формуле (10). При этом за базу следует выбирать точку на диаметрально противоположной стороне круга.

Если же у нас готов участок шкалы, например, как это часто бывает, в окрестности точки  $s = 0,1$  и нам надо найти скольжение: точки с очень малым скольжением (например  $s = 0,003$ ), точки с очень большим скольжением (например  $s = 3$ ), точки с отрицательным скольжением — то надо воспользоваться геометрической арифметикой. Тогда, используя линию моментов как линию умножения, — в первом случае геометрически разделим  $s$  на  $0,1$  и получим точку  $s = 0,03$  в разградуированной части шкалы, во втором случае — геометрически умножим  $s$  на  $0,1$  и получим точку  $s = 0,3$  — опять в разградуированной части шкалы, в третьем случае — геометрически умножим на  $-1$  и опять-таки получим точку в разградуированной части шкалы.

Эти методы, естественно, применимы и при других приложениях круговой диаграммы.

Таковы принципиальные и практические выводы из математической теории шкалы круговой диаграммы.

## Коэффициенты загрузки воздушных участков кабельных линий 6 кВ

Н. П. СМЕРНОВ

„Оргрэг“

Действующий ОСТ 6260 на кабели регламентирует загрузку воздушных участков кабельных линий в размере 75% от тока допустимого при аналогичных условиях подземной прокладки кабеля. Указанной поправкой учитываются наименее благоприятные условия работы кабеля, принятые как средние в исходных данных ОСТ. Возможность изменения температурных условий оговорена в ОСТ таблицей снижения нагрузок при повышении температуры окружающей среды выше  $+15^\circ$ .

В практических условиях эксплуатации основным фактором, лимитирующим степень загрузки воздушных участков кабеля, являются значения и соотношение температур: земле и на воздухе. Значения температур, определяющие возможность целесообразной загрузки воздушных участков кабеля, колеблются в весьма значительных пределах. Та например, для условий г. Москвы результаты многолетних наблюдений<sup>1</sup> дают кривые среднемесячных температур, приведенные на рис. 1. Кривая температуры почвы отнесена к глубине обычного заложения кабеля — 0,8 м. На том же рисунке дана разность температур воздуха и земли. В верхней части графика отложены случаи превышения температуры воздуха над температурой почвы. Под осью абсцисс показаны условия обратного соотношения, наиболее интересные с точки зрения возможности повышения загрузки воздушных участков.

Не оставляя без внимания абсолютных значений температур, можно учесть относительно лучшее охлаждение воздушных участков, обусловленное более низкой температурой воздуха, и тем самым компенсировать повышенное значение коэффициента теплоперехода воздуха по сравнению с тепловым сопротивлением грунтов.

Различные возможности при разнообразных местных условиях могут быть учтены аналитически с помощью тепловых уравнений кабеля. Для одинаковых температурных условий изменения тока нагрузки в зависимости от теплового сопротивления среды может быть определено из формулы:

$$I_2 = k I_1 = I_1 \sqrt{\frac{\Sigma (S_k + S_{c1})}{\Sigma (S_k + S_{c2})}},$$

где  $I_1$  и  $I_2$  — токи, определенные для соответствующих сред;  $k$  — коэффициент для пересчета тока;  $S_k$  — тепловое сопротивление кабеля;  $S_{c1}$ ,  $S_{c2}$  — тепловые сопротивления сред.

Изменение температурных условий учитывается при определении возможной загрузки кабелей следующей формулой:

$$I'_2 = k' I'_1 = I'_1 \sqrt{\frac{t_{жс} - t_2}{t_{жс} - t_1}},$$

<sup>1</sup> Климатологический справочник.

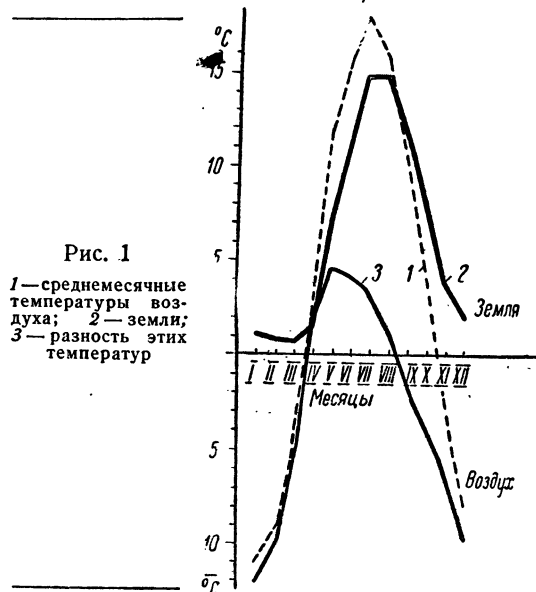
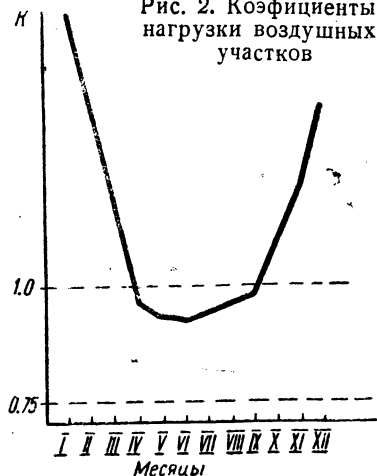


Рис. 2. Коэффициенты нагрузки воздушных участков



где  $I_1, I_2$  — токи, для соответствующих температур сред  $t_1$  и  $t_2$ ;  $k'$  — коэффициент пересчета тока;  $t_{жс}$  — допустимая температура жилы кабеля.

Расчеты показывают, что отношение возможных нагрузок воздушного и подземного участков кабельной линии

$= \frac{I_1}{I_2}$  при определенных местных условиях может значительно отличаться от значения 0,75, указанного в ОСТ.

Что практически дает применение уточненных коэффициентов, показано для климатических условий Москвы (рис. 1) на рис. 2. Коэффициенты рис. 2 определены для кабеля 3×120 мм<sup>2</sup> с удельным тепловым сопротивлением в 180 ТΩ/см<sup>2</sup>. Как видно из рис. 2, лимитирующее условие воздушных

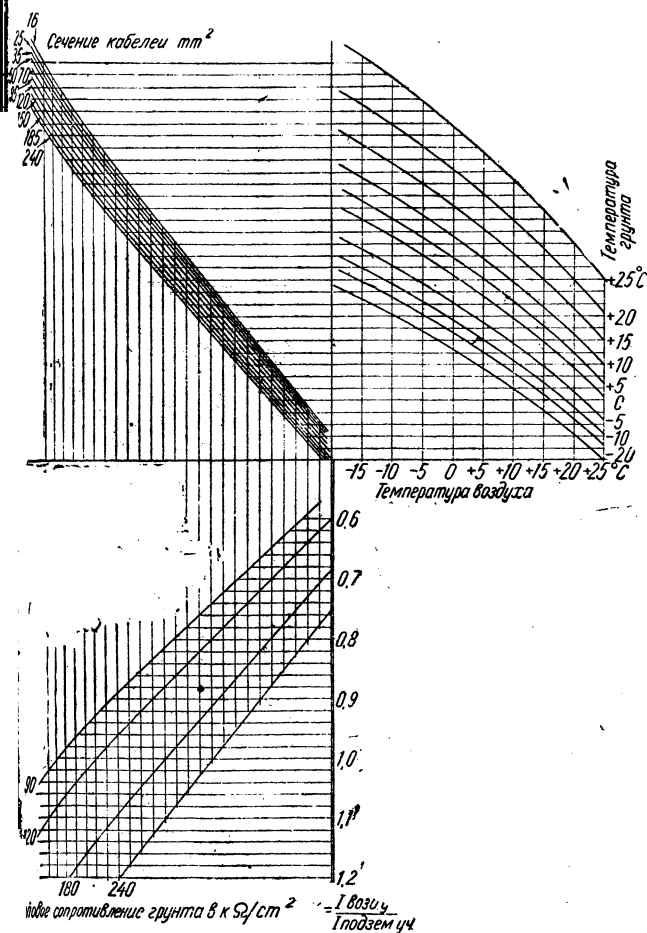


Рис. 3. Номограмма для определения коэффициента нагрузки воздушных участков кабелей, проложенных в земле в зависимости от соотношения температур воздуха и земли и средних значений теплового сопротивления грунта

участков может быть для Москвы снято в течение примерно 6 мес.

Для облегчения возможности определения уточненных коэффициентов загрузки воздушных участков на рис. 3 приведена номограмма. Номограмма дает возможность определять коэффициенты загрузки воздушных участков кабелей, проложенных в земле, в зависимости от температур воздуха и земли, сечения кабелей и средних значений удельных тепловых сопротивлений грунтов.

По оси абсцисс первого квадранта отложены возможные температуры воздуха. При пользовании номограммой от известного значения данной шкалы вверх проводится вертикальная линия до пересечения с кривой определенной температуры почвы. От точки пересечения проводится горизонтальная прямая влево. Эта прямая продолжается за ось ординат до пересечения с соответствующей прямой сечения кабеля. Опущенный из точки пересечения перпендикуляр в области третьего квадранта даст пересечение с прямой удельных тепловых сопротивлений грунтов. Если от точки пересечения провести горизонтальную прямую вправо, то на шкале отрицательной части оси ординат будут показаны искомые коэффициенты загрузки воздушных участков по сравнению с подземными.

## Метод лучшего использования магнитной стали

А. С. СУХАНОВ

Ярославский электромашиностроительный завод

Для получения более однородных и лучшего качества материалов избегают изготовлять чрезмерно массивные магниты, и когда необходимо все же иметь магнитные системы больших размеров, они составляются из ряда отдельных магнитов. В связи с этой конструктивной особенностью имеются три метода намагничивания и сборки магнитной системы: намагничивание и старение отдельных магнитов или собранной уже системы, или же намагничивание отдельных магнитов и старение собранной системы.

Как указывается в литературе, наиболее выгодно производить намагничивание собранной магнитной системы; проводимость всей системы в этом случае больше и характеризуется линией  $OM$  и углом  $\alpha_1$ , а работа прибора или машины будет характеризоваться точкой  $M$  (рис. 1).

При намагничивании отдельных магнитов и размыкании полюсов магнита проводимость уменьшается и характеризуется линией  $OK$  и углом  $\alpha_2$ . После сборки магнитной системы из этих намагниченных магнитов рабочая точка системы уже не совместится с  $M$ , а она будет лежать на пересечении линий возврата  $KN$  и  $OM$  в точке  $C$ . Коэрцитивная сила  $H_c$  и остаточная индукция  $B_c$  этой точки  $C$  много меньше, чем точки  $M$ , а потому и характеристики приборов будут отличными (до 100%) от исходных свойств материалов.

Таким образом при одном и том же объеме материала и качества его использование материала зависит от метода сборки магнитной системы.

С целью лучшего использования дорогостоящих магнитов кобальтовой стали мною была проведена следующая работа.

После намагничивания магнитов, имеющих форму согласно рис. 2, а, обычным способом, полюса магнитов замыкались специальной стальной пластинкой, которая увеличивала проводимость магнита.

Так как с замкнутыми полюсами магнитная система быть не может и намагнитить ее в собранном состоянии также невозможно, были изготовлены специальные разрезные шарнирные кольца, показанные на рис. 2, б, которыми замыкались магниты по всей внешней окружности во время сборки.

Замыкая каждый магнит таким кольцом, тем самым увеличивали проводимость магнита. После сборки всей системы и вставки якоря кольца снимались, и дальнейшая сборка машины производилась обычным порядком.

Как и следовало ожидать, рабочая точка магнитной системы поднялась и стала близко к точке  $M$  (рис. 3), характерной для намагниченной собранной системы.

Очевидно, что проводимость каждого отдельного магнита можно увеличить настолько, чтобы она соответствовала проводимости его в собранной системе, т. е. чтобы линия  $OP$  совпадала с линией  $OM$ . Для этого надо подобрать кольцо соответствующего сечения.

Собранная машина с тремя такими магнитами вместо номинальных 20 В дала напряжение 40 В, т. е. в 2 раза больше. Это позволило собрать машину, не с тремя магнитами, а только из двух и получить все же 23 В.



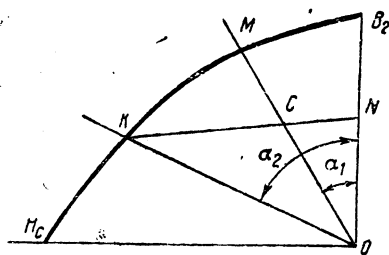


Рис. 1

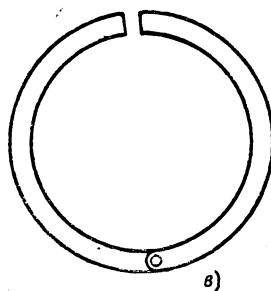
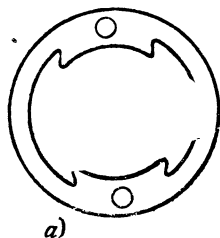


Рис. 2

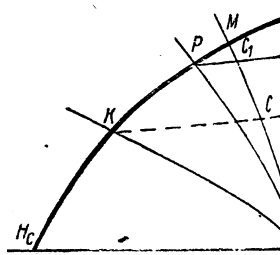


Рис. 3

Третья машина мною собрана была из бракованных, по магнитным свойствам, магнитов. Машина, собранная из трех магнитов с 70% показаниями, дала напряжение 27 V вместо номинальных 20 V.

Возникло опасение, не размагнитится ли быстро такая машина. Для проверки машину поставили на месяц времени на вибрационный станок. После этого испытания машины не обнаружили никаких изменений в своих показаниях.

Указывают на вытекающие для эксплуатации неудобства из предложенного процесса сборки — такую машину невозможно разобрать без перемагничивания. Такой недостаток будет иметь место, но он легко может быть устранен применением при разборке машины тех же шарнирных разных колец. Прежде чем вынуть якорь, необходимо будет надеть на магниты кольца, а затем замкнуть полюса магнита пластинками и хранить в таком виде сколько требуется.

Сборка должна производиться в указанном выше порядке.

ций, заставило произвести проверку возможности включения таких батарей через пусковые реакторы и проанализировать режим работы батарей, если реактор включается последовательно с ними.

Наличие сосредоточенной реактивности, последовательной включенной с емкостью батарей, поставило на очередь влияние высших гармонических в напряжении на работу батарей.

С целью определения значений гармонических слуг в напряжении автором было произведено измерение на 3, 5, 7, 9 и 11 гармоник на шинах 380, 500, 3000 и 6000 V ряда текстильных предприятий Московской области.

Измерения производились гармоникометром системы О. новича, проградуированным с помощью машины Франка в лаборатории<sup>1</sup>. Точность отсчета напряжения гармоник до 0,05% от напряжения основной частоты, что может считаться более чем достаточным для любых практических целей. На неточность отстройки от основной частоты вносилась дополнительная поправка, вычисленная из осциллограмм напряжения на милливольтметре гармоникометра при включении его в сеть 125 V нормальной частоты.

Измерения производились как в часы полной нагрузки, так и в часы остановки предприятия, тем самым охватывая по возможности весь диапазон возможных напряжений.

<sup>1</sup> Градуировка проведена техниками А. И. Васильевым и П. В. Чебышевым.

## Высшие гармонические напряжения на шинах подстанций промпредприятий

Н. П. КРАСНУШКИН

«Энерготекстильстрой»

Широкое распространение батарей статических конденсаторов, присоединяемых к шинам фабрично-заводских подстан-

### Результаты измерений

Таблица 1

№ п/п	Наименование фабрики	Место измерения	Режим работы	% гармоники в линейном напряжении				
				$U_3$	$U_5$	$U_7$	$U_9$	$U_{11}$
1	Трехгорная мануфактура им. Дзержинского, г. Москва	Шины 6000 V 380 V 6000 V 380 V	Полная нагрузка	0,307	0,51	0,21	—	0,28
			То же	0,00	0,475	0,193	—	0,13
			Нагрузки нет	0,32	0,89	0,54	—	0,25
			То же	0,28	0,95	0,575	—	0,36
2	Измайловская прядельно-ткацкая фабрика, г. Москва	Шины 6000 V 500 V 500 V	Нагрузки нет	0,377	0,54	0,063	—	0,18
			То же	0,394	0,655	0,124	0,04	0,21
			Полная нагрузка, но выходной день в городе	0,445	0,565	0,09	0,04	0,13
3	Ореховская бумагопрядильная фабрика № 1, Орехово-Зуево, Моск. обл.	Шины 3000 V	Полная нагрузка	0,00	0,11	0,04	—	—
4	Новоглуховская подстанция 30 000/2000 V, г. Глухово, Моск. обл.	Шины 2000 V 500 V	Полная нагрузка	0,11	0,03	0,057	—	—
			То же	0,125	0,15	0,02	—	0,06
5	Новоткацкая фабрика, г. Глухово, Моск. обл.	Шины 2000 V	Полная нагрузка	0,42	0,072	0,067	—	0,08

Примечания к табл. 1.

а) В таблицу внесены наибольшие значения процента высших гармонических, полученные из измерений на различных фазах ( $a-b$ ,  $b-c$ ,  $c-a$ ).

б) Значения процента 3 и 5-й гармоник сильно разнятся для различных фаз по причине несимметрии в магнитной цепи трехфазных трансформаторов.

Таблица 2

№ п/п	Присоединенные во время измерения трансформаторы и характеристика подстанций	Характеристика сети, питающей подстанцию
1	1 трансформ. 2000 kVA Y/Y—12 МО 6500/410,6 питает всю силовую нагрузку фабрики 2300 kVA	Питается от тэц по трем кабелям 150 м 6000 V. Ряд других потребителей присоединен прямо к шинам 6000 V тэц
2	<div> <div> 1 300 kVA Y/Y—12 ТИ 6000/230 V  2 300 kVA Y/Y—12 ТМ 6000/230 V  3 100 kVA Y/Y—12 ТМ 6000/230 V  4 1000 kVA Y/Y—12 ТМ 6000/525 </div> <div> Работают параллельно на силовую нагрузку  Питают освещение  Питают силовую нагрузку </div> </div>	Питается от районной подстанции Мосэнерго 110/35/6,6 kV по одному кабелю длиной 3 км
3	Силовых трансформ. нет. Несколько мелких осветительных трансформ. 3000/220 V, всего 300 kVA	Нагрузка двигателями 3000 V на всех фабриках
		Питается от тэц по сети 3000 V общей длиной более 30 км

на шинах подстанции. Во всех случаях процент гармонических слагающих определялся путем деления отсчета по приборному на измеренное напряжение на шинах подстанции.

В табл. 1 частично даны результаты измерения. Табл. 2 дает краткую характеристику некоторых из обследованных сетей и присоединенных к ним трансформаторов в момент измерения.

Произведенные измерения дают возможность сделать следующее заключение:

На одной из фабрик напряжения гармоник не превосходили 1% и во всех случаях лежали в границах: 3-я гармоника 0,6; 5-я—1,0; 7-я—0,7; 9-я—0,2; 11-я—0,4%.

В сетях с большим числом мощных трансформаторов, как правило, процент гармонических слагающих ближе к указанному верхнему пределу, в то время как в сетях с малым числом трансформаторов и с двигателями, непосредственно включенными на 2000 и 3000 V (сеть Орехово-Зуева) процент гармонических слагающих много меньше указанного предела.

Процент гармонических слагающих наибольший в выходной день фабрики, когда напряжение на шинах фабричной подстанции и, следовательно, насыщение железа трансформаторов наибольшие.

Токи высших гармоник, вызванные гармониками в напряжении на клеммах батареи, предполагая их равными предельному при мощности батареи до 1000 kVA и длине кабеля до 2000 м, не увеличат нагрев банок больше, чем на 10% выше номинала его при чисто синусоидальном напряжении.

При установке пусковых реакторов последовательно с батареей процент высших гармонических токов, в сильной степени зависящий от степени отстройки контура от резонанса на 5, 7 и 11-й гармониках, может тщательным подбором числа банок держаться в таких границах, чтобы дополнительный нагрев банок не превосходил также 15%.

## ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

### Вениамин Франклин

М. И. РАДОВСКИЙ

Ленинград

СТО пятьдесят лет назад, 17 апреля 1790 г. умер великий американский ученый и политический деятель Вениамин Франклин.

Среди ученых, создавших современную науку, Вениамин Франклин занимает особое место. Выходец из трудовой семьи, сам пролетарий, он неутомимой работой над собой поднялся на необычайную высоту как в общественном, так и в научном развитии.

Кроме специально-научного значения, труды Франклина замечательны еще тем, что его работы в области электричества нанесли сокрушительный удар поповским легендам о том, что грозные силы природы — гром и молния — суть орудия «гнева божия». Изыскания Франклина воочию доказали, что человеческая мысль может проникнуть в самые сокровенные тайны природы и разгадать их; не оставляя при этом никакого места для каких бы то ни было церковных выдумок о «небесной кадре» и т. п.

Огромное значение имела и его политическая

деятельность. С именем Франклина связана одна из важнейших страниц истории Америки. Он стоял во главе освободительного движения, ниспровергшего засилие Англии в Америке.

В лице этого замечательного самородка блестяще сочетался глубокий ученый и неутомимый общественно-политический деятель.

Вениамин Франклин родился в 1706 г. в г. Бостоне, в Америке. Отец его — многосемейный ремесленник (Вениамин был пятнадцатым ребенком) — всю жизнь вел борьбу с нуждой. Его заработка — в начале он был красильщиком, а затем занялся выделкой свечей — едва хватало на пропитание семьи.

Младший из сыновей — Вениамин — еще в раннем возрасте поражал своими способностями, но лишь с трудом смог отец поместить сына в единственную тогда в Бостоне среднюю школу. Однако продержат его там удалось не больше года: плата за право учения была не по средствам бедному ремесленнику.

За год пребывания в школе будущий исследователь научился не только чтению и счету, но и правильному письму. В нем рано пробудилось стремление к образованию, и никакие усилия не могли принудить его заняться ремеслом отца.



Вениамин Франклин

Гораздо привлекательней казалось ему занятие старшего брата, который владел небольшой типографией. К нему на работу перешел Вениамин. По контракту Франклин должен был в течение восьми лет пребывать в «учениках», не получая при этом никакого вознаграждения. Но типографское дело пришлось по вкусу любознательному Франклину, и он со всей энергией принялся за изучение книгопечатного искусства, которое вскоре и изучил в совершенстве.

Однако бесчеловечное отношение брата вызывало частые конфликты, и чтобы избавиться от закрепостившего его договора, Вениамин резко порвал отношения с братом, убежав из Бостона.

Начались обычные для пролетария скитания из города в город в поисках заработка. Наконец, работа нашлась в г. Филадельфии. Здесь Франклин провел значительную часть общественной и научной жизни.

Общественная деятельность Франклина, начавшаяся с организации культурно-просветительных учреждений, как, например, средней и высшей школы, коснулась почти всех сторон жизни — от органов здравоохранения до юриспруденции (он одно время был судьей) включительно. Вскоре имя Франклина, как общественного деятеля, стало известно не только в Филадельфии, но и далеко за пределами его города.

Необычайно одаренный литератор Франклин прославился во всей Америке, как выдающийся публицист. Основанная им газета вскоре стала самой распространенной на его родине. К 50-м годам XVIII в. популярность Франклина была так велика, что на него пал выбор представительства в Английском парламенте для защиты интересов американских колоний (1756—1775). К этому времени относятся знаменитые политические памфлеты Франклина, в которых он с особой силой изобличал действия британских сатрапов в Америке. Когда же стало ясно, что американский народ добьется освобождения только в открытой борьбе, вспыхнуло восстание, увенчавшееся провозглашением независимости бывших английских колоний, названных «Соединенными штатами».

Франклин был одним из авторов «Декларации независимости» (1775 г.).

До Франклина все мысли об электрической природе молнии оставались догадкой; опытами они еще не были подтверждены, а следовательно, не стали еще научной истиной. Франклин своими замечательными опытами не только подтвердил высказанную до него мысль, но нашел средство, как уберечься от пагубных действий молнии.

В своих опытах Франклин неоднократно наблюдал «действие остроконечия». Оно заключается в том, что заостренное тело необычайно реагирует на электрические явления. Через него, например, очень легко отводить электрические заряды из других заряженных тел, находящихся и на отдаленном расстоянии.

Именно на этом свойстве заостренного тела Франклин и построил свой громоотвод, вернее молниеотвод. Это был металлический шест, воздвигнутый на каком-либо строении и соединенный проводником с землей.

Шест этот своим острием привлекал электрические заряды, находящиеся в атмосфере, и отводил их в землю.

Таким образом, открытие Франклина заключалось в том, что он научился «извлекать электрический огонь из облаков».

Уместно отметить, что этими вопросами независимо от Франклина занимался великий русский ученый Михаил Ломоносов, который в ряде случаев пришел к тем же выводам, что и Франклин (см. нашу статью «Михаил Васильевич Ломоносов и его исследования в области электричества». «Электричество» № 1, 1939).

Научные изыскания Франклина относятся главным образом к концу 40 и началу 50-х годов XVIII в. Ему было уже за сорок лет. В то время вопросы электричества выдвинулись в центр всей тогдашней науки.

Многие ученые стали, правда, еще смутно догадываться, что электрические заряды можно возбудить не только в определенной группе тел, но что вся природа наполнена этими зарядами. В литературе неоднократно высказывалось предположение о том, что молния есть не что иное, как мощный разряд атмосферного электричества.

Наряду с достижениями в области экспериментальной учение об электричестве в 50-х годах XIX в. делает большие успехи и в вопросах теоретических воззрений на природу электричества. Эти успехи связаны с именем Франклина. В отли-

ние от своего предшественника, французского ученого Дюфэ (30-е годы XVIII в.), выдвинувшего теорию о существовании в природе двух родов электричества — смоляного и стеклянного, — что соответствует положительным и отрицательным зарядам, Франклин утверждал, что существует только один род электричества. В одних телах имеется избыток его, в других — недостаток. Эта теория носит название унитарной. При помощи ее Франклин объяснил почти все известные тогда явления.

Особенно много он занимался исследованием лейденской банки, эффекты которой напоминали явление молнии.

Про Франклина было сказано, что он отнял молнию у неба и власть у тиранов. Последнее относится к его борьбе за освобождение Америки от власти Англии<sup>1</sup>.

Вся политика английского правительства, все его мероприятия только умножали недовольство и приближали час открытого вооруженного восстания в колониях. Началась великая освободительная

<sup>1</sup> Подробней работы Франклина автором рассмотрены в статье „Исследования Франклина в области электричества“, „Электричество“ № 9, 1938.

война, которая является одной из самых замечательных страниц в истории нового времени.

«История новейшей, цивилизованной Америки, — пишет В. И. Ленин, — открывается одной из тех великих, действительно освободительных, действительно революционных войн, которых было так много среди громадной массы грабительских войн, вызванных, подобно теперешней империалистической войне, дракой между королями, помещиками, капиталистами из-за дележа захваченных земель или награбленных прибылей. Это была война американского народа против разбойников англичан, угнетавших и державших в колониальном рабстве Америку, как угнетают, как держат в колониальном рабстве еще теперь эти «цивилизованные» кровопийцы сотни миллионов людей в Индии, в Египте и во всех концах мира» (XXIII т., стр. 176).

В этой освободительной революционной войне американского народа против английских капиталистов Франклину принадлежала активная и руководящая роль.

Прошло полтора века с тех пор, как умер Франклин. Но слава его не померкла и поныне. Память о нем бережно хранит весь культурный мир.

## РЕФЕРАТЫ

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ЗА ГРАНИЦЕЙ

#### Электроснабжение современных американских небоскребов и больших зданий

Расцвет строительства небоскребов и больших зданий в Америке относится к периоду конца двадцатых — начала тридцатых годов XX века. Именно в этот отрезок времени в Нью-Йорке возникли один за другим высочайшие здания, в том числе 77-этажное здание Кризлер, 72-этажное Банка Менхетан, 85-этажный колосс — Эмпайр Стэйт Билдинг и, наконец, группа зданий Рокфеллер Центр со своим 70-этажным центральным корпусом RCA.

С началом экономического кризиса, начиная, примерно,

с 1932—1933 г., сооружение больших зданий, как и вообще всякое строительство, в Америке резко сократилось. В годы упадка в экономической жизни Америки, вплоть до Всемирной выставки в Нью-Йорке, имели место лишь единичные случаи возведения крупных городских строений, по своим размерам далеко уступающих ранее построенным.

Из всех возведенных небоскребов с электротехнической точки зрения наибольший интерес представляют два объекта, а именно: Эмпайр Стэйт Билдинг и группа Рокфеллер Центр. Электрические нагрузки. Основная нагрузка в небоскребах, предназначенных для контор и банков, особенно более ранней постройки, складывается из освещения помещений

Электрические нагрузки американских небоскребов

Таблица 1

Наименование здания	Число этажей	Общая площадь этажей, м²	Присоединен. нагрузка в kW			Запроектирован- ный максимум нагрузки, kW	Коэф. одновре- менности	Отношение мак- симу нагрузки к установл. мощ- ности тр-ров	Удельная присоединен- ная нагрузка, W		
			освещ.	силов.	всего				на 1 м² площади		
									освещ.	силов.	всего
Chrysler . . . . .	77	107 500	2460	2480	4 940	2500	0,50	0,83	23,0	23,0	46,0
Bank of Manhattan . . . . .	72	74 500	3241	2750	6 000	2000	0,333	0,67	43,5	37,0	80,5
Daily News . . . . .	36	67 000	1115	950	2 060	900	0,45	0,75	16,7	14,1	30,8
Wing Trust Co . . . . .	50	46 500	1379	3000	4 379	1500	0,34	0,63	30,0	65,0	95,0
Salmon Towers . . . . .	60	60 000	974	1420	2 394	940	0,39	0,52	16,2	23,7	39,9
Leifcourt . . . . .	43	65 500	1214	470	1 684	522	0,31	0,43	18,6	7,2	25,8
Farmer's Loan . . . . .	30	30 700	650	800	1 450	630	0,435	0,53	21,0	26,0	47,0
Farmer's Loan . . . . .	56	80 500	1296	3100	4 396	1780	0,41	0,54	16,1	38,5	54,6
Farmer's Loan . . . . .	37	75 000	1322	1050	2 372	1110	0,47	0,62	17,6	14,0	31,6
Nelson Towers . . . . .	48	44 000	715	1040	1 755	715	0,41	0,40	16,2	23,6	39,8
Empire State Building . . . . .	85	256 000	4431	7050	11 481	5031	0,44	0,65	17,3	27,5	45,0
City Service . . . . .	63	97 000	1345	3480	4 825	1963	0,41	0,49	13,8	35,7	49,5

и двигателей подъемных устройств. В зданиях более поздней постройки, предназначенных частично для публичных целей (например с театральными залами, как в Рокфеллер Центре) или для специальных целей (хранение государственных документов в Государственном архиве в Вашингтоне) значительную долю нагрузки создают также сантехустройства, в том числе вентиляция и кондиционирование воздуха, а также специальные устройства, как, например, моторные нагрузки сценических устройств и преобразовательные установки радиовещания (Рокфеллер Центр).

В табл. 1 приведены основные характеристики и величины электрических нагрузок для 12 наиболее крупных зданий, построенных в Нью-Йорке в период 1925—1933 гг.

Все эти здания с числом этажей не менее 30 и с площадью их не менее 30 000 м<sup>2</sup> относятся к конторско-банковскому типу, которому свойственны специфические требования как в отношении освещения, так и в отношении моторных установок, что нельзя не учитывать при анализе данных о потреблении электрической мощности и энергии этими зданиями.

**Схемы электроснабжения.** Снабжение электрической энергией больших высоких американских зданий осуществляется по так называемой системе вертикального распределения энергии.

Наиболее типичны в отношении схем электроснабжения здания Салман Тауэр и Сити Сервис, Эмпайр Стэйт Билдинг, Рокфеллер Центр.

Особенностями схем электроснабжения этих зданий являются:

1. Ввод внутрь здания питающих кабелей напряжением 13,8 kV и установка на различных этажах групп понижающих трансформаторов.

Необходимость вертикальной прокладки высоковольтных кабелей по зданию, а также создание трансформаторных подстанций на различных отметках и вызвало к жизни наименование «вертикальное распределение энергии».

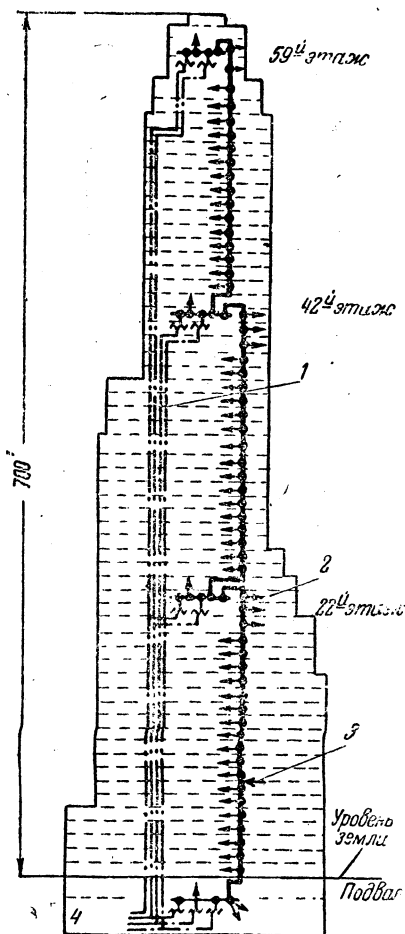


Рис. 1. Схема вертикального распределения энергии в Салман Тауэр

1 — 13-kV кабели; 2 — низковольтные потребители;  
3 — магистраль 120/208 V; 4 — уличные фидеры

2. Применение метода «сквозных фидеров» 13,8 kV при полном отсутствии какого-либо коммутационного защитного или измерительного оборудования высокого напряжения.

К одному кабельному питающему фидеру 13,8 kV глухо присоединяются или через кабельные отпайки непосредственно несколько трансформаторов разных подстанций. Таким образом трансформаторы одной и той же станции на стороне 13,8 kV работают раздельно.

3. На стороне низкого напряжения все трансформаторы данного здания или даже группы зданий (как в СР Рокфеллер Центра) тем или иным способом соединяются для параллельной работы не только между собой, но с трансформаторами уличной замкнутой сетки данного городского района.

4. Получающаяся в результате параллельного соединения трансформаторов на низком напряжении внутренняя гистральная низковольтная сеть ни в одном случае не имеет своего вида, ни по принципу работы несколько не похожа на ту сеть, которую называют «замкнутой» (решетчатой сеткой), несмотря на то, что некоторые элементы последней имеются во внутренней сети.

5. Так как внутренней магистральной низковольтной сетки не придавался характер замкнутой сетки, то при решении вопросов работы этой сети ни в одном случае американские здания не вставляли вопросы, свойственные замкнутой сетке, такие, например, как — самовыкигание кабелей или специфичная для замкнутой сетки селективность работы предохранителей и т. д.

6. Защита кабелей 13,8 kV и трансформаторов осуществляется только с помощью сетевых автоматов (протекторы), через которые трансформаторы присоединяются к внутренней низковольтной сети.

В случае повреждения трансформатора выключается соответствующий протектор и дефектный трансформатор отключается от низковольтной сети. При повреждении кабелей 13,8 kV выключаются протекторы тех трансформаторов, которые приключены к данному кабелю. На высоком напряжении отключение аварийного участка производится путём действия соответствующего защитного реле, установленного на генераторной станции, и отключения со стороны последней соответствующего питающего кабеля 13,8 kV.

7. Для установки в зданиях широко применяются трехфазные группы из однофазных трансформаторов с масляным заполнением. Эти группы, как правило, соединяются треугольником на высоком напряжении и звездой с нулевым проводом на низком напряжении.

8. Внутри зданий осуществляется, как правило, единая четырехпроводная сеть переменного тока напряжением 120/208 V. Начиная от главных распределительных щитов (подстанционных), распределение энергии производится по радиальной системе, с осуществлением, однако, разделения на осветительную и моторную сети.

9. Все электрические измерения внутри здания производятся на стороне низкого напряжения трансформаторов.

В здании Салман Тауэр, например, предусмотрено 4 трансформаторных подстанции: подвальная с 3 трансформаторами по 300 kVA каждый, и на 22, 42 и 59 этажах с 2 трансформаторами по 150 kVA на каждой. Характерной особенностью распределительной системы этого здания является то обстоятельство, как показывает рис. 1, что низковольтная связь между подстанциями имеет назначение распределительной магистрали (распределительных шин) низкого напряжения. На каждом этаже от этой магистрали производятся отпаики к этажным распределительным щиткам. Магистраль выполнена в виде изолированных кабелей.

Аналогичная распределительная магистраль предусмотрена и в 63-этажном здании Сити Сервис, а также 28-этажном здании Шелл Ойль (Сан-Франциско), но уже в виде глыбы труб, проходящих вертикально сквозь все этажи и присоединенных к низковольтным шинам подстанций, расположенных на разных отметках.

Как в случае Салман Тауэр, так и в случае Сити Сервис распределительная магистраль защищается предохранителями, встраиваемыми в нее перед и после шин каждой подстанции и разделяющими магистраль таким образом на участки с двухсторонним питанием.

В здании Эмпайр Стэйт Билдинг 3 подстанции с общим числом трансформаторов, равным 13 по 600 kVA каждый: в подвале 5 трансформаторов, на 41 и 84 этажах по 4 трансформатора. В подвале здания с двух сторон от городской уличной кабельной системы заводятся 5 фидеров 13,8 kV, из которых на 41 и 84 этажи продолжают только 4 фидера.

На низковольтной стороне каждый трансформатор через

фактор, выравнивающий нагрузку трансформатора и сетевой автомат с предохранителем параллельно с другими трансформаторами подстанции присоединяется к общим низковольтным шинам подстанции.

Низковольтные междуподстанционные связи, присоединяющиеся через предохранители к низковольтным шинам каждой подстанции, в отличие от аналогичных связей в Салмэн Тауэр и Сити Сервис, имеют назначение только служить связью для параллельной работы подстанций и являются резервной низковольтной цепью для подпитки низковольтных шин той или иной из подстанций в случае выпадения из работы какого-либо из трансформаторов этой подстанции. Эти связи не имеют никаких отпаек по этажам.

Привязка низковольтной сети здания к уличной замкнутой сетке производится путем присоединения шин 120/208 V подвальной подстанции к этой сетке с помощью кабелей. Распределение энергии по низковольтной сети производится с помощью главных распределительных щитов, устанавливаемых по соседству с трансформаторным помещением каждой подстанции.

При подвальной подстанции предусмотрено 3 таких щита и при остальных двух подстанциях по 2 щита. Каждый щит присоединяется к низковольтным шинам подстанции с помощью голых полос, подвешенных к потолку и к стенам, в расщелку которых включены измерительные трансформаторы тока и выключатели с предохранителями (см. схему на рис. 2).

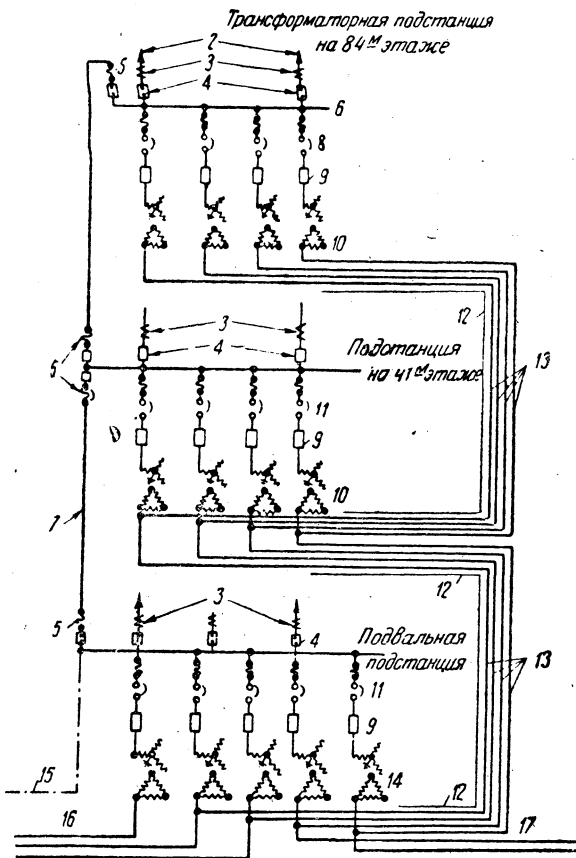


Рис. 2. Схема электроснабжения Эмпайр Стэйт Билдинг

2 — к потребительским щиткам; 3 — ТТ 2400/5 А; 4 — выключатели; 5 — предохранители; 6 — четырехпроводные шины 120/208 В; 7 — четырехпроводная трехфазная связь; 8 — сетевые выключатели 1600 А; 9 — реакторы; 10 и 11 — трансформаторы группы по 600 кВА; 11 — сетевые выключатели; 12 — запас; 13 — фидера 13,8 кВ; 15 — к уличной сети на 33 улицы; 16 — с 33-й улицы; 17 — с 34-й улицы

От распределительных щитов радиально отводятся питающие низковольтные фидеры: четырехпроводные 120/208 В для освещения и трехпроводные напряжением 208 В для двигателей. В том и в другом случае применен кабель сечением 253 мм<sup>2</sup>. Каждый питающий низковольтный фидер обслуживает определенную зону определенного числа этажей.

Схема электроснабжения группы крупных зданий, именуюемой Рокфеллер Центр, заслуживает особого внимания, учитывая размеры этих зданий, их назначение, а также учиты-

вая, что эти крупнейшие здания как наиболее поздней постройки отражают самый последний опыт строительства небоскребов в Америке.

Питание Рокфеллер Центра осуществляется 8 кабельными фидерами 13,8 кВ от двух генераторных станций (Hell Gate Station и Hudson Avenue Station).

Для обеспечения большей надежности эти фидеры присоединяются к разным секциям шин генераторных станций и таким образом создают условия непрерывности питания комбината в случае, если какой-либо из станционных генераторов или какая-либо из целых секций шин станции выпадет из работы.

Вопросы оборудования, конструкций и монтажа. Для внутренней прокладки в Эмпайр Стэйт Билдинг (ЭСБ) и в Рокфеллер Центре (РЦ) применены кабели 13,8 кВ двух родов.

Для вертикальной прокладки принят трехжильный бронированный стальной оцинкованный проволокой кабель специальной конструкции для подвески в металлической трубе и закреплением у верхней точки. Кабели для ЭСБ имеют изоляцию из лакоткани (лакированный кембрик). Они изготовлены на напряжение 15 кВ, имеют наружный диаметр около 3" и вес около 6 фунтов/фут.

Для горизонтальных прокладок, в частности для подводки от вертикальных стояков к трансформаторам, а также для вывода из здания и присоединения стояков к подземной системе (в уличных колодцах), применен стандартный американский одножильный оцинкованный кабель. Кабели того и другого типа везде в здании прокладываются в стальных оцинкованных трубах, окруженных бетоном с толщиной стенки минимум 2".

Вертикальная прокладка высоковольтных кабелей осуществляется путем устройства в определенных местах здания вертикальных кондуктных систем и стояков. Последние состоят из нескольких вертикально укрепленных к конструкции здания стальных труб, окруженных бетоном с протяжками в трубах кабелями. На отметках, где установлены трансформаторы, или несколько ниже в стояке устраивается протяжная камера с пожароустойчивой дверью.

В этих камерах производится крепление кабелей. В пределах камеры между кабелями предусмотрены перегородки из листовой стали.

Кроме того, каждый высоковольтный кабель в пределах камеры или покрывается дугоустойчивым покрытием (для ЭСБ) или закрывается металлической крышкой.

Г. К. Карташов

### Литература

1. A. H. Kehoe and Basset Jones. Vertical A-C Distribution Networks. El. Eng., апрель 1931.
2. A. Walsh. Vertical Distribution in World's Tallest Structure. El. World, 14 фев. 1931.
3. Vertical AC Network for Tall Buildings. El. World, дек. 27, 1930.
4. M. G. Seim. Electricity Supply in the World's Largest Building. El. World, сент. 30, 1930.
5. Frank Graf. Electrical Power Supply for New Archives Building. El. Jour., дек. 1936.
6. Engenc Clute. Radio City Starts with 13 000 kVA Capacity. El. World, 9 апр. 1932.
7. I. W. Baldwin. Rockefeller Center. El. Jour., май, 1934.
8. G. Colson. Distribution System within Rockefeller Center. El. Jour., май 1934.
9. Heating and Ventilating. Отопление и вентиляция. Рокфеллер Центра, V. 29, № 5, 1932.

Н. Rissik. Передача очень больших мощностей постоянным током. El. Rev., стр. 119, 125—126, № 3245, 1940.

За последние годы в ряде стран возникла необходимость передавать очень большие мощности на весьма большие расстояния. В частности, в США при проектировании каскада гидроэлектростанций Бонневиль-Грэнд Кули имеется в виду присоединить эти станции к трансконтинентальным линиям очень большой длины с пропускной способностью по 500—1000 MW. Обычные методы передачи уже не могут обеспечить сколь угодно приемлемого решения этой и подобных ей задач. Поэтому имеется в виду использовать для этих линий постоянный ток напряжением 400 кВ и выше.

Преимущества передачи постоянным током следующие:



1) Отсутствие скин-эффекта, позволяющее отказываться от применения дорогих полых проводников и соответственно облегчить конструкцию линейных опор. 2) Повышение критического напряжения короны в 1,3 до 1,8 раз против амплитудного значения критического напряжения на переменном токе. 3) Отсутствие индуктивного и емкостного падения напряжения в линии. 4) Повышение напряжения перекрытия гирлянды изоляторов в 2—2,5 раза. 5) Возможность использовать для передачи подземный кабель, с высокими экономическими показателями благодаря гораздо лучшему использованию изоляции и отсутствию электрических потерь. 6) Полное разрешение проблемы устойчивости.

С другой стороны, осуществление передачи постоянным током сталкивается с рядом затруднений и неразрешенных проблем: так, не обеспечена возможность передачи реактивной мощности по линии постоянного тока. Не исследовано влияние электростатических сил на запыление изоляторов, теоретически способное привести к неравномерному распределению потенциала вдоль гирлянды. Требуют выяснения явления осмоса в кабелях постоянного тока, а также необычно высокие по сравнению с работой на переменном токе значения зарядной энергии, наблюдавшиеся при включении кабелей на высокое напряжение постоянного тока. Недостаточно разработана контрольно-измерительная, коммутационная и вспомогательная аппаратура постоянного тока.

Основным затруднением является попрежнему разработка достаточно мощного преобразователя для выпрямления и инвертирования сверхвысоких напряжений. Лабораторные исследования последнего времени показали, что ртутные выпрямители могут быть построены на напряжения до 50 kV при мощности в 20 MW в единице. Еще большие мощности в единице — 100 MW при 400 kV — обеспечивают по данным изобретателя применение дуговых вентилях Маркса, включенных по трехфазной схеме Гретца. Многообещающие работы ведутся также в области создания тириatronов очень высокого напряжения.

Экономически передача постоянным током оправдывает себя при расстояниях передачи свыше 100 миль (160 км), или же при значениях передаваемой мощности свыше 100 MW. В самой Великобритании передачи такой длины пока не намечаются; в английских же колониях они потребуются по мнению журнала в целом ряде случаев.

Я. М. Червоненкис

**Электрохимическая и электрометаллургическая промышленность Германии.** *Journal du four électrique*, ноябрь 1939 *El. World*, 13 янв. 1940.

Отмечая важную роль электрохимии и электрометаллургии в военной промышленности, журнал характеризует развитие электроемких производств Германии за последние 25 лет.

В течение многих лет энергетики считали, что успешное развитие электроемких производств возможно лишь на базе дешевой гидроэнергии. Германия располагала сравнительно небольшими гидроэнергетическими ресурсами, и поэтому к началу первой империалистической войны (1914 г.) значительная часть ее потребностей в продуктах электрохимической и электрометаллургической промышленности покрывалась импортом.

В период 1914—1918 гг. Германия стала развешивать электроемкие отрасли промышленности, используя для этой цели преимущественно электроэнергию от тепловых электростанций, работающих на буром угле.

В последующие годы продолжался быстрый рост различных электроемких производств.

В 1939 г. производство алюминия в Германии достигло 200 000 т, производство карбид-кальция — около 1 млн. т, цианамид — 700 000 т, электролитического хлора — 150 000 т.

Наряду с этим развивались новые производства на базе электротермии и электролиза (легкие металлы и сплавы, специальные стали, удобрения, пластмассы, синтетический каучук и т. п.).

В 1937 г. при суммарном электробалансе Германии в 49 млрд. kWh на нужды электрохимии и электрометаллургии было потреблено около 11 млрд. kWh (в том числе около 5 млрд. kWh от собственных установок промышленности).

Суммарное производство электроэнергии в 1939 г. в прежних границах оценивают приблизительно в 63 млрд. kWh.

В пределах современной территории Германии энергетическая база электроемких отраслей расширилась за счет значительных ресурсов гидроэнергии.

В. И. Михайлов

**Электрификация Турции.** *World Power*, сентябрь 1938 *Elektrizitätswirtschaft* № 13, 1934 и № 17, 1939; *Combustion*, ноябрь 1939.

Территория Турции составляет 763 тыс. км<sup>2</sup>, а население — на 1 июля 1937 г. — 16,49 млн. чел. Около 75% населения занято сельским хозяйством.

Сведения об энергетических ресурсах и электрификации страны весьма скудны<sup>1</sup>. Важнейшие месторождения каменного угля, дающие около 80% всей угледобычи страны, расположены в Малой Азии в районе Эрегли. Запасы месторождений бурого угля оцениваются в 2 млрд. т. Однако эти угли характеризуются большим содержанием влаги и серы.

Добыча каменного угля составляла в 1929 г. 1,42 млн. т, достигнув в 1937 г. — 2,34 млн. т; добыча бурого угля в 1929 г. — 12 тыс. т, а в 1936 г. — 96 тыс. т.

Месторождения нефти довольно раздроблены. Лучшие из них расположены вдали от путей сообщения в восточной части Азиатской Турции. В целом эти месторождения не открывают особо благоприятных перспектив<sup>2</sup>. Добыча нефти ведется кустарным способом.

Леса занимают 88,2 тыс. км<sup>2</sup> (около 11,5% всей площади страны).

Гидроэнергетические ресурсы страны мало изучены. Суммарная мощность гидроэнергии оценивается в 1 млн. л. с.

По уровню развития электрификации Турция стоит в ряду отсталых стран.

В конце прошлого века султан Абдул Гамид, усматривая в электроэнергии фантастические опасности, запретил ее широкое применение, что не помешало ему, однако, устроить электрическое освещение в своем дворце.

Первая турецкая гидростанция была сооружена на р. Тарсу (Малая Азия) в 1902 г. Электрификация прежней столицы — Константинополя — начала развиваться лишь в 1914 г. когда была построена паровая электростанция мощностью в 12 MW.

О масштабах развития и структуре электрохозяйства Турции можно судить по следующим данным. В 1932 г. электроснабжением было охвачено около 2 млн. жителей (13,8% всего населения). Суммарная мощность 54 действовавших электростанций составляла около 100 MW. Крупнейшие электростанции находятся: в Стамбуле (Константинополе) мощностью в 70 MW (5 паровых турбин), в Измире — 6 MW (2 паровых турбины), в Анкаре — 5,5 MW (5 дизелей), в Адане — 3,2 MW (2 дизеля). В 1937 г. в стране насчитывалось 141 электростанция, из которых подавляющая часть принадлежит к числу маломощных и работает на импортной нефти.

Статистика производства электроэнергии ведется лишь по некоторым отдельным городам. В Стамбуле выработка электроэнергии составляла в 1929 г. — 66 млн. kWh, в 1937 г. — 111 млн. kWh, в Анкаре в 1930 г. — 5 млн. kWh, в 1938 г. — 13 млн. kWh, в Адане соответственно — 0,4 и 2,4 млн. kWh.

Суммарный электробаланс страны в 1929 г. оценивался в 82 млн. kWh. За последующие годы данные отсутствуют: по оценке энергетической печати (журн. *Elektrizitätswirtschaft*, *Combustion*) к 1939 г. выработка возросла больше чем на 100% против 1929 г. Исходя из этого, годовое производство на душу населения в настоящее время выражается цифрой порядка 11 kWh.

Намечено сооружение электростанции мощностью в 45 MW (по другим источникам проектная мощность станции 120 MW), на угольном штыбе и станции мощностью в 60 MW на буром угле. Наряду с этим запроектирована постройка гидростанции Мугла в юго-западной части Анатолии и других станций.

В. И. Михайлов

**W. Briem. Предельная мощность машин постоянного тока.** *E & M*, Heft 45/46, стр. 548—552, 1939.

Предельная мощность машин постоянного тока, помимо магнитной нагрузки, ограничивается электрическими параметрами.

Рассматривая влияние отдельных факторов на расчет машины, автор принимает, что средняя индукция в воздушном зазоре может составлять  $B_1 = 8000—9500$  Г; линейная нагрузка якоря  $AS = 400—600$ ; плотность тока  $s = 3,5—4$  А/мм<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Турция не участвовала в мировых энергетических конференциях, на которых освещались вопросы энергоресурсов и электрификации.

<sup>2</sup> См. Труды И. М. Губкина и С. П. Киселева. Мировые нефтяные месторождения, 1934.

После аналитического рассмотрения расчетных величин автор определяет максимальный диаметр якоря для петлевой обмотки, как:

$$D = \frac{637 \cdot P}{e_s AS},$$

где  $D$  — диаметр якоря в см;  $P$  — мощность в kW. Для случая  $e_s = 20$  V и  $AS = 500$  автор выводит формулу для предельной мощности машины постоянного тока:  $P = 15,7 D$ . Максимальный диаметр якоря в свою очередь ограничивается предельным габаритом, допустимым при перевозке по железным дорогам. Для германских железных дорог, по этим соображениям, диаметр якоря не должен превышать 4,4 м (для этого диаметра предельная ширина якоря, допустимая к перевозке, составит 1,3 м). Таким образом для 4-м диаметра якоря предельная мощность согласно вышеприведенной формуле составит 6280 kW.

С другой стороны, диаметр якоря ограничивается окружной скоростью, которую автор принимает равной 60 м/с.

В ряде случаев, при специальном выполнении машин, удастся значительно превысить значения вышеприведенных расчетных обоснований предельной мощности, хотя бы, например, путем создания усиленной вентиляции.

Так например, можно назвать выполненные двигатели мощностью 4500 kW при 545 об/мин, предназначенные для тракторных станков. Кратковременная мощность этих двигателей может быть доведена до 10 000 kW.

Выполнением двигателей с сдвоенными якорями предельная мощность в специальном исполнении может быть доведена даже до 40 000 kW.

Ю. М. Галонен

**H. Flörke. Измерение перенапряжения машин постоянного тока, возникающего при отключении обмотки возбуждения.** *E & M, стр. 521—524, 43/44, 1939.*

При отключении обмотки возбуждения машин постоянного тока возникает удар перенапряжения, оказывающий губительное влияние на изоляцию машины.

Автор реферируемой статьи предлагает простой способ для непосредственного измерения величины перенапряжения.

Неоновая лампа, использованная по предложению проф. Dr. Schering, реагирует на вполне определенное напряжение зажигания. Чувствительность лампы определяется силой тока порядка  $10^{-7}$  А. При проведении опытов использовалась неоновая лампа Osram с кольцевым и пластинчатым электродом, а также специальная лампа с поворачивающимся электродом. Эти неоновые лампы чрезвычайно мало чувствительны к внешним помехам.

Экспериментальная схема для измерения перенапряжения представлена на рис. 1. Опыты проводились на двухполюсном высоковольтном генераторе 2000 V с шунтовым независимым

диапазоном тока возбуждения с доведением его до номинального ( $I = 0,56$  A). При измерении находится положение движка потенциометра, при котором еще не наблюдается зажигания лампы. Такое положение, по утверждению автора, удается определить после проведения 8—15 опытов.

Тогда искомое перенапряжение может быть легко определено, как:

$$\hat{U} = \frac{UR}{r},$$

где  $\hat{U}$  — возникающее при разрыве цепи возбуждения перенапряжение;  $U$  — напряжение зажигания неоновой лампы;  $R$  — полное сопротивление потенциометра;  $r$  — сопротивление потенциометра в контуре неоновой лампы.

Приводятся результаты серии опытов, проведенных с целью выявления наилучшего способа гашения перенапряжения, возникающего при отключении шунтовой обмотки, в виде семейства кривых в зависимости величины перенапряжения от напряжения на обмотке перед отключением.

Описываемый способ может найти широкое применение при исследовании явлений перенапряжения, возникающего при рекуперации на подвижном составе электрических железных дорог.

Ю. М. Галонен

**R. Jiretz. Проектирование электросетей по моделям.** *AEG-Mitt., стр. 481—487, Heft 11, 1939.*

Лабораторное оборудование, выпущенное недавно AEG, позволяет очень быстро собирать модели сетей и находить токораспределение и падения напряжения на участках путем несложных измерений.

Оборудование состоит из коммутационного шкафа, с набором сопротивлений (по десятичной схеме) и измерительного стола. Выводы от отдельных ступеней сопротивлений выполнены при помощи шнуров со штырями. Таким же образом к коммутационному шкафу подсоединены и провода от приборов, установленных на измерительном столе.

Для построения модели сети характеристики всех ее элементов пересчитаны на эквивалентные омические сопротивления, которые затем и наносятся на схему коммутационного шкафа с помощью встроенных в эту панель групп штепсельных гнезд (воспроизводящих на модели узловые пункты

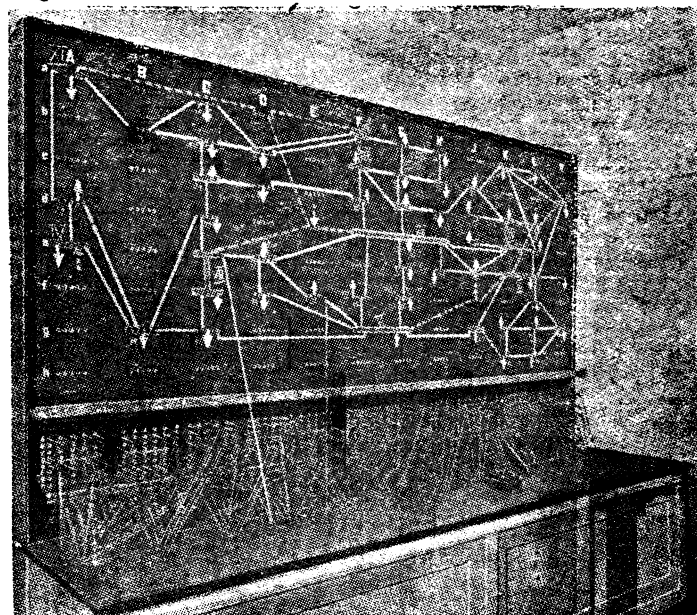


Рис. 1. Коммутационный шкаф с моделью сети

сети). Участки сети в виде эквивалентных сопротивлений включаются между узловыми пунктами при помощи шнуров со штырями. Питание модели производится постоянным током 100 V от входящего в комплект оборудования небольшого агрегата. Положительный полюс подключается во всех узлах, соответствующих пунктам питания, а отрицательный — во всех точках модели, соответствующих местам

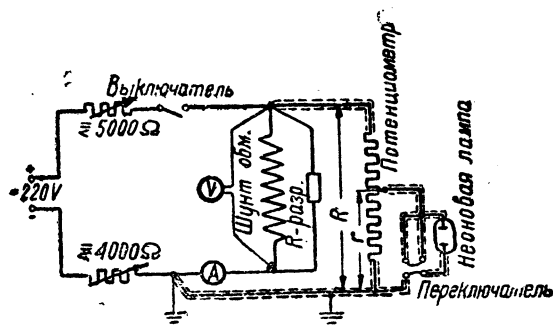


Рис. 1. Экспериментальная схема для измерения перенапряжения

возбуждением, питаемым от сети 220 V. Сопротивление шунтовой обмотки экспериментальной машины составляло — 175 Ω. Прерывание цепи шунтовой обмотки производилось обыкновенным выключателем, расположенным для ряда опытов в воздушной среде, а для остальных опытов погруженным в масло.

Наиболее благоприятный результат дало применение высокоомного потенциометра сопротивлением  $1,86 \cdot 10^6 \Omega$ .

Опыты по определению перенапряжения, возникающего при отключении шунтовой обмотки, производились для широкого

сосредоточения нагрузок. Подключение питания производится через эквивалентные сопротивления, предварительно определенные расчетом. Условия к. з. в какой-либо точке воспроизводятся прямым (без добавочного сопротивления) подключением отрицательного полюса. Измерение силы тока и падения напряжения на участках производится путем соединения шнуров, идущих от измерительного стола, с соответствующими гнездами панели коммутационного шкафа.

На описанной модели легко и быстро находятся токи к. з. в различных точках, наиболее удобные размещения питательных пунктов, необходимые дополнительные линии при увеличении нагрузки и вообще решаются все вопросы, связанные как с проектированием новых, так и с расширением существующих сетей. Аналитическое решение этих вопросов зачастую связано с очень сложными и громоздкими вычислениями.

На рис. 1 представлен коммутационный шкаф с воспроизведенной на нем моделью сети.

М. С. Добрин

**L. Lang. Вольтметры для частот от 30 Hz до 200 млн. Hz. Siemens-Zeitschrift, Bd 19, стр. 108—113, 1939.**

Для измерения напряжений переменного тока при не слишком высоких частотах применяются почти исключительно детекторные приборы. Однако при частотах выше нескольких тысяч герц эти приборы неприменимы вследствие большой собственной емкости твердых выпрямителей, приводящей к ошибкам. Поэтому на высоких частотах измерения напряжения должны производиться следующими методами: 1) с применением термопреобразователей малой мощности (вакуумные термодыны) и 2) с применением ламповых (диодных) вольтметров.

В реферируемой статье описываются разработанные автором схемы вольтметров, показания которых не зависят от частоты в весьма широком диапазоне.

Рис. 1 изображает схему вольтметра, позволяющего измерять эффективные напряжения от 0,1 до 30 V, при частотах от 0,1 до 20 млн. Hz.

Измеряемое напряжение усиливается (без искажения формы кривой) при помощи лампы  $L$  и через понижающий трансформатор высокой частоты подается на термопреобразователь  $Th$ . Шкала прибора приблизительно квадратичная (соответственно характеристике термопреобразователя). Максимальная погрешность меньше  $\pm 5\%$  измеряемой величины.

В тех случаях, когда измеряемое переменное напряжение близко к синусоидальному, наиболее удобными приборами являются диодные вольтметры. В реферируемой статье описываются два прибора такого рода. Первый — это диодный вольтметр, измеряющий напряжения от 0,2 до 140 V в области частот от 30 Hz до 50 млн. Hz. Второй диодный прибор основан на следующей идее: чем выше частота, тем сильнее сказываются на результате измерений емкость и самоиндукция подводящих проводов. Для устранения этого источника ошибок подводящие провода были заменены измерительным стержнем, внутри которого помещаются измерительный диод, а также нагрузочное сопротивление и конденсаторы. Для измерения прикасаются концом измерительного стержня (соединенным с анодом диода) к одной, а металлической гильзой, окружающей диод, — к другой точке, напряжение между которыми необходимо измерить. Для

удобства обращения размеры стержня выбраны небольшими (диаметр 24 mm, длина 200 mm). Измерительный стержень соединяется при помощи экранированного гибкого провода с ящиком, в котором находятся показывающий прибор, батарея накала и переключатели. Этим прибором можно измерять эффективные напряжения от 0,5 до 250 V в области частот от 50 Hz до 200 млн. Hz.

А. И. Фройман

**Новые клещи Дитца и универсальный прибор для измерения напряжения и коэффициента мощности. Eng. № 18, 1939, Siemens-Zeitschrift, Bd 19, № 8, 1939.**

В последнее время ряд иностранных фирм выпустил на рынок приборы, представляющие собой усовершенствованную модификацию клещей Дитца. Прибор, выгущенный в Англии, состоит из легкого переносного трансформатора тока с откидным яром и детекторного амперметра. Трансформатор надевается на провод, после чего его магнитная система замыкается; правильное положение яра фиксируется стопором. Трансформатор тока заключен в изоляционный кожух из пластмассы, что позволяет производить измерения непосредственно на голых шинах при напряжениях до 600 V. Прибор изготовляется на силы тока от 100 до 2500 A. Погрешность прибора, по сообщению журнала Engineering, не превышает  $\pm 2\%$  от полной шкалы.

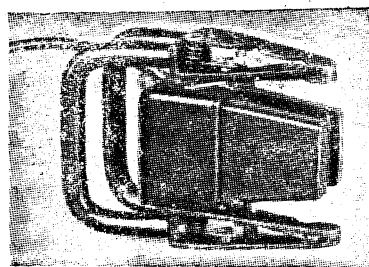


Рис. 1

Аналогичный прибор изготовляется в Германии фирмой Сименс и Гальске. В этом приборе применен, однако, трансформатор с незамкнутой магнитной цепью, без яра. Специальное центрирующее приспособление на трансформаторе обеспечивает вполне определенное положение провода относительно магнитопровода трансформатора. Наибольший диаметр проводов, на которые может быть надет трансформатор, составляет 22 mm. Железо магнитопровода и ручки трансформатора заключены в изолирующие чехлы (рис. 1).

В качестве указывающего прибора здесь также применен детекторный амперметр.

Особенностью измерительного прибора является его универсальность: он пригоден для измерения тока, напряжения и  $\cos \phi$ .

Прибор изготовляется для напряжений 240 и 480 V, на силы тока 10, 30, 120 и 240 A и для  $\cos \phi$  от 0 до 1. Погрешность прибора при измерении напряжения составляет 1,5%, тока  $\sim 2,5\%$  и угла сдвига фаз 2—3 угловых градуса. Показания прибора при работе амперметром и фазометром зависят от внешних магнитных полей.

М. С. Либкина

**C. H. Grindrod. Устранение искрообразования между контактным проводом и токоприемником троллейбуса. Passenger Transport Journal, стр. 237—239, 8 декабря 1939.**

Рассматриваются конструктивные мероприятия для снижения искрообразования на секционных изоляторах контактной сети. Описывается конструкция нового секционного изолятора и приводится разработанная конструкция защитного цилиндрического кожуха, закрывающего сверху и с боков секционный изолятор.

Кроме того, приводится представляющее несомненный интерес устройство, переносящее дугу возникающего между контактным проводом и токоприемником на контактор с электромагнитным дутьем.

Принцип действия схемы заключается в том, что место разрыва дуги шунтируется через салазки, расположенные сбоку секционного изолятора, и головку или вставку токо-

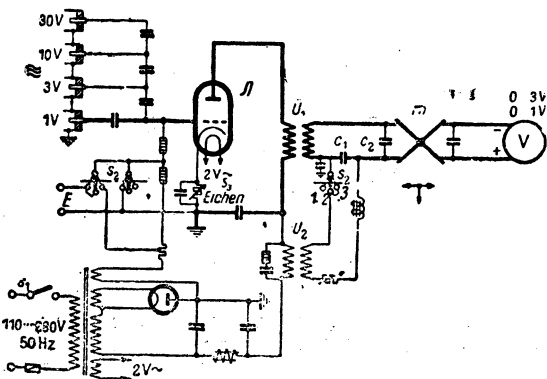


Рис. 1. Схема вольтметра для измерения эффективных напряжений

приемника силовыми контактами электромагнитного контактора.

В середине секционного изолятора до того, пока еще не нарушен контакт с первыми салазками, головка токоприемника замыкает на своем пути расположенные по другую сторону секционного изолятора вторые салазки. Тем самым подается питание на катушку электромагнитного контактора и, прежде чем токоприемник успеет сойти с первых салазок, происходит возбуждение соленоида контактора, влекущее за собой разрыв силовых контактов контактора.

Для уменьшения искрообразования и предупреждения обгорания контактов контактор снабжен искрогасительной катушкой.

Контакторная панель помещается в деревянном ящике, монтируемом на ближайшей мачте.

В отношении предупреждения искрообразования на крестовинах указывается, что видимость искрения также может быть снижена путем применения фибровых кожухов.

Описанные устройства с успехом могут быть использованы в трамвайной сети.

Как показали опыты, проведенные на манчестерском трамвае, описываемые в реферируемой статье устройства дают возможность почти полностью устранить видимость искрения на секционных изоляторах, о чем свидетельствуют приведенные в статье фотографии. Устройство это имеет большое значение с точки зрения обеспечения надежной светомаскировки.

Ю. М. Галонен

L. V. Koganyi. Буксирный речной дизель-электроход. *E & M, Heft 47/48, стр. 572—574, 1939.*

Приводится описание электрохода «Szechenyi», находящегося в 1938 г. в эксплуатации на Дунае на линии Budapest — Regensburg (Венгрия).

Буксирный электроход обладает незначительной посадкой в 1,2 м и обеспечивает скорость в 10 км/ч при максимальной буксирной нагрузке в 10 барж по 6000 т каждая.

Электроход имеет лопастно-колесный привод, дающий в данных условиях, как показали предварительные исследования, на 35% больший к. п. д., чем винтовой привод. Оба колеса электрохода приводятся непосредственно от тихоходного (35—44 об/мин) двигателя постоянного тока мощностью 1000 л. с. при номинальном напряжении 540 В.

Для питания двигателя служат 3 дизель-генераторных агрегата. Мощность каждого дизеля составляет 400 л. с. при 100 об/мин, а каждого генератора — 285 кВт при номинальном напряжении 190 В. Для возбуждения шунтовых обмоток генераторов и двигателя служат 2 возбуждающих агрегата по 25 кВт, 800 об/мин, 230 В каждый. Для питания вспомогательных цепей служит дизель-генератор мощностью 6 кВт; он же может быть использован в качестве резервного возбуждателя.

К. п. д. генераторов при полной нагрузке составляет 92%, к. п. д. двигателя при полной нагрузке и максимальном числе об/мин (44) достигает 91%. Общий вес двигателя составляет 43 т. Остов двигателя выполнен сварным и изъёмным на 4 части. Остов имеет 16 главных и 16 дополнительных полюсов. Двигатель снабжен водонепроницаемыми оликоподшипниками и имеет сварной водонепроницаемый кожух. Вентиляция двигателя посторонняя.

В условиях нормальной эксплуатации все 3 генератора включаются последовательно, так что двигатель работает при номинальном напряжении 540 В, потребляя 1500 А при полной нагрузке. Для работы на малых скоростях возможно питание двигателя от двух или даже одного генератора. По мере уменьшения числа питающих двигатель генераторов, изменение скорости может быть достигнуто изменением возбуждения генераторов и двигателя. Самая медленная скорость двигателя  $1/4$  об/мин.

Ревёрсировка двигателя достигается изменением полярности генераторов. Время, потребное на осуществление реверсировки, составляет всего 15—20 сек.

Управление всем электрооборудованием электрохода происходит с помощью командо-аппарата и колонок управления, сосредоточенных на капитанском мостике.

Ю. М. Галонен

Электромобили в Англии. *The Electrician № 3217, стр. 73, 1940.*

Дефицитность нефтепродуктов и их нормированное распределение, введенное в Англии с начала нынешней войны, вызвало увеличение производства и усиленный спрос на электромобили, применяемые главным образом для развозки хлеба и других пищевых продуктов. Перед войной производство электромобилей составляло почти 1000 шт. в год. В эксплуатации находилось всего около 5000 шт. В настоящее время производство электромобилей достигло 2000—2500 шт. и намечено дальнейшее увеличение до 7500 шт. в год.

Ограниченный радиус действия электромобиля, составляющий 45 английских миль (72,5 км), не является недостатком, так как в довоенное время из общего числа 500 000 бензино-нефтяных автомобилей суточный пробег 100 000 автомобилей не превышал этого лимита. Поэтому, можно полагать, что около половины общего числа грузовых автомобилей смогут быть постепенно заменены электромобилями.

Электромобиль экономичнее всех других механических перевозочных средств и даже лошадиной тяги. Так например, полугрузовой электромобиль потребляет электроэнергии всего около 0,5 кВт на милю. Износ шин и расход смазочных масел у электромобилей намного меньше, чем у автомобилей.

Относительно более высокая покупная цена электромобиля покрывается его более длительным сроком службы. К преимуществам электромобиля следует также отнести бесшумность, чистоту, отсутствие выхлопных газов, безопасность в пожарном отношении, простоту и легкость управления. Это облегчает гаражное обслуживание, что играет весьма важную роль при недостатке квалифицированных шоферов.

Особенно целесообразным считается применение электромобилей в тех случаях, когда их эксплуатация связана с частыми остановками.

М. М. Финкель-Моисеев

Однофазный электровоз для горной линии. *El. Ry Traction, стр. 136—138, № 81, 1939.*

Для дороги Berne Lötschberg Simplon построены два новых однофазных 15 кВ, 16 $\frac{2}{3}$  Hz электровоза с формулой осей 1—CO + CO—1 при одночасовой мощности в 6000 л. с. Общий вес электровоза составляет 142 т, максимальная скорость — 90 км/ч, максимальное тяговое усилие при пуске — 36 000 кг.

Благодаря применению двигателей со сдвоенными якорями в 1000 л. с. мощность новых электровозов удалось повысить на 33% по сравнению с ранее построенными для этой линии двумя электровозами того же типа.

Электровоз оборудован серьезными компенсированными двигателями с добавочными полюсами. Тяговое усилие двигателей передается через зубчатую передачу на пустотелый вал, связанный через индивидуальную передачу Сешерона с ведущими осями.

На электровозах применено реостатное торможение. Вспомогательные машины работают на однофазном токе 220 В, 16 $\frac{2}{3}$  Hz. Установленная для питания цепей управления аккумуляторная батарея на 36 В работает параллельно с однофазным вращающимся преобразователем. Нагревательные цепи питаются от однофазной цепи 800—1000 В.

М. Д. Трейвас

Новый мощный промышленный электровоз. *E & M, Heft 45/46, стр. 554, 1939.*

Новый рудничный электровоз предназначается для рудников бурого угля Riebeck-Montanwerke, Halle. В отличие от большинства применявшихся до сих пор для рудничных работ узкоколейных электровозов (колея 900 мм) новый электровоз предназначается для нормальной германской колеи (1435 мм). Электрооборудование электровоза — SSW, механическая часть — Henschel & Sohn. Общий вес электровоза (он же сцепной) составляет 150 т. Максимальное тяговое усилие на сцепке 45—50 т, максимальная скорость 60 км/ч.

Электровоз обеспечивает ведение поездов общим весом 1500 т на подъеме 14 $\frac{1}{2}$ ‰. Каждый поезд перебрасывает 325 м<sup>3</sup> бурого угля. По сообщению фирмы новый электровоз является самым большим рудничным электровозом в мире.

Для лучшей проходимости на кривых электровоз состоит

из 3 подвижно сочлененных между собой частей. Общая длина электровоза 19 м. Электровоз имеет 6 ведущих осей (бегунковые оси отсутствуют), каждая из ведущих осей приводится от тягового двигателя мощностью 400 kW. Рабочее напряжение 1200 V.

Интересным моментом является то, что в целях максимального упрощения схемы для большего соответствия тяжелым условиям рудничной эксплуатации фирма решила отказаться от контактного управления. Управление электровозом производится с помощью силового контроллера с 2-ступенным управлением.

Электровоз оборудован электрическим тормозом к. з., ручным и пневматическим тормозом. Потребность в сжатом воздухе обеспечивается 2 мотор-компрессорами фирмы Knorr производительностью 1400 l/min каждый. Эти же компрессоры снабжают воздухом цилиндры опрокидывающего устройства вагонов. На электровозе предусмотрено устройство для выравнивания электрической нагрузки двигателей различных нагруженных осей, вследствие чего коэффициент сцепления всех осей остается практически постоянным<sup>1</sup>.

Для осуществления загрузки поезда на электровозе применяется интересная схема дистанционного управления электровозом. Для наиболее эффективного наполнения состава углем поезд должен продвигаться под грейфером со скоростью около 20 m/min. Управление электровозом при загрузке угля в вагоны происходит из будки грейфера, из которой крановщик может наблюдать весь процесс погрузки. После того как электровоз подъезжает под грейфер, переключением контроллера двигателя включаются последовательно, а их обмотки возбуждения питаются от умформера, расположенного на электровозе.

Якоря двигателей оказываются соединенными через боковой токоприемник и вспомогательный контактный провод с генератором управления, расположенным на грейфере. Машинист грейфера принимает управление электровозом, на время загрузки, по особому сигналу.

Ю. М. Галонен

**Выпрямитель с управляющими сетками. *El. Ry Traction*, стр. 135, № 81, 1939.**

Электрифицированная впервые пригородная Миланская линия имела 5 тяговых подстанций, оборудованных 1000 kW вращающимися преобразователями. Недавно на одной из подстанций был установлен металлический ртутный выпрямитель Броун-Бовери, мощностью 1500 kW при 750 V, допускающий 50% перегрузку в течение 2 час. и 200% в течение 5 мин. Силовой трехфазный трансформатор выпрямителя (на 42 Hz) имеет на первичной стороне девять отпаек для компенсации колебания первичного напряжения в пределах от 41 до 45 kV и поддержания выпрямленного напряжения, при полной нагрузке, в пределах от 600 до 750 V. Для защиты установок от обратных зажигания и регулирования напряжения выпрямитель снабжен управляющими сетками, на которые в момент аварии посредством быстродействующего реле накладывается отрицательный потенциал.

Для регулирования напряжения применена импульсная система Броун-Бовери. Положительные импульсы накладываются поочередно на все сетки, управляя моментом зажигания дуги на различных анодах. Уменьшение напряжения постоянного тока достигается задержкой подачи положительного импульса на сетки.

Комбинированное регулирование напряжения управляющими сетками и отпайками трансформатора дает благоприятные результаты с точки зрения улучшения коэффициента мощности.

М. Д. Трейвас

**Mc. Donald G. R. Регулирование напряжения ртутных выпрямителей. *El. Eng.*, стр. 563, № 11, 1939.**

В настоящее время, как известно, ртутные выпрямители успешно конкурируют с вращающимися преобразователями. Для того чтобы преимущества были целиком на стороне первых, необходимо, чтобы их напряжение можно было регулировать, так же как и других видов преобразователей. Внешняя характеристика выпрямителя и подсоединенного к нему

трансформатора подобна характеристике шунтовой машины и является прямой линией, наклон которой зависит от типа трансформаторного соединения, реактанта и омического сопротивления трансформатора и питающей системы и от падения напряжения в дуге выпрямителя.

Первые попытки изменения напряжения выпрямителя были сделаны при применении схемы рис. 1. «Закорачивая» между фазовый трансформатор  $X$  и подмагничивающую обмотку  $Y$  а затем производя обратное действие, можно последовательно получать характеристики  $AB$ ,  $ACD$  и  $ACE$ . Подобная схема не дает, однако, кривых желательной формы и, кроме того, вызывает сильное уменьшение  $\cos \varphi$ .

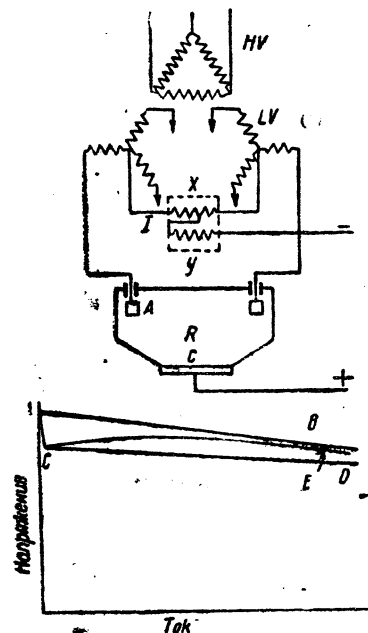


Рис. 1. Принципиальная схема и характеристика напряжения выпрямителя

Параллельное подключение к междуфазовому трансформатору этой схемы последовательно соединенных конденсаторов и реактора дает большую гибкость регулирования, лучшую утилизацию обмоток трансформатора и лучший  $\cos \varphi$ .

Введение управляющих сеток позволило получить от выпрямителя наиболее гибкое регулирование напряжения в широких пределах. Однако искажение форм кривых напряжения выпрямленного и питающей системы переменного тока вызывают возражение против чрезмерно глубокого регулирования.

В конце статьи приведена дискуссия по затронутому автором вопросу. G. Jones отмечает преимущество инверсионной схемы с точки зрения легкости регулирования напряжения меньшей мощности забираемой управляющими сетками, меньших потерь и лучшего к. п. д. подобного рода преобразователя и приводит схему для регулирования напряжения смешением, где смешиваемое напряжение берется не от мотор-генератора, а от купроксного выпрямителя. O. Marti с удовлетворением отмечает развитие схем регулирования смешиванием напряжением и описывает подобную опытную установку в Чикаго, где, однако, вместо мотор-генератора используется постоянное напряжение постоянного тока. Кроме того, он отмечает возможность, посредством сеток, гашения коротких замыканий и обратных зажигания.

М. Д. Трейвас

**Thomson W. T. Новый метод определения процентной величины гармоник. *El. Eng.*, стр. 488, № 11, 1939.**

Процентная величина гармоник, обычно определяемая с помощью анализатора гармоник или разложением в ряд Фурье осциллограммных кривых, может быть также легко определена (при наличии в кривой не более трех составляющих — 1, 3 и 5-й или 1, 2 и 3-й) при помощи вольтметра и амперметра. Приводя математическое доказательство этого положения, автор дает формулы для подсчета процентной

<sup>1</sup> Приоритет в изобретении противобуксовочного приспособления, основанного на автоматическом изменении возбуждения двигателей, при изменении распределения нагрузки осей, принадлежит проф. Д. К. Минову. При м. реф.



лины гармоник при двух составляющих:

$$K_n = \sqrt{\frac{F_c - 1}{\left(\frac{1}{n^2} - F_c\right)}}$$

при трех — для низшей составляющей (3-й):

$$K_n = \sqrt{\frac{(n_2^2 - 1)F_c + \left(1 - \frac{1}{n_2^2}\right)F_L + \left(\frac{1}{n_2^2} - n_2^2\right)}{(n_1^2 - n_2^2)F_c + \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right)F_L + \left(\frac{n_2^2}{n_1^2} - \frac{n_1^2}{n_2^2}\right)}}$$

для высшей составляющей (5-й):

$$K_n = \sqrt{\frac{(n_1^2 - 1)F_c + \left(1 - \frac{1}{n_1^2}\right)F_L + \left(\frac{1}{n_1^2} - n_1^2\right)}{(n_2^2 - n_1^2)F_c + \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)F_L + \left(\frac{n_1^2}{n_2^2} - \frac{n_2^2}{n_1^2}\right)}}$$

где  $n$  — порядок гармонической; значения  $F_c$  и  $F_L$  могут быть получены из уравнений

$$F_c = \left\{ \frac{E_{c\text{ eff}}}{E_{c\text{ sine}}} \right\}^2$$

$$F_L = \left\{ \frac{E_{L\text{ eff}}}{E_{c\text{ sine}}} \right\}^2$$

При этом вначале измеряют  $E_{c\text{ eff}}$  при известном значении  $I_{\text{eff}}$ , а затем к той же емкости прикладывают чистое синусоидальное напряжение  $E_{c\text{ sine}}$  и регулируют ее величину до получения первоначального значения  $I_{\text{eff}}$ .

М. Д. Трейвас

## G. W. Ingram. Устранение радиопомех. *Radio Interference Suppression*, 1939.

Задачей реферируемой книги является ознакомление широких кругов инженеров-электриков, работающих в области производства и эксплуатации силовых электрических устройств, с вопросом об индустриальных помехах радиоприему и методах борьбы с ними.

Автор, указывая на постоянно растущую чувствительность современной приемной радиоаппаратуры, справедливо отмечает, что любой электрический прибор способен излучать помехи, которые при достаточно высоком отношении мешающего сигнала к полезному (2:5 по автору) могут полностью нарушить прием.

Автор разделяет три типа помех: первые помехи, поступающие в приемник через питание, вторые — непосредственно излучаемые различной электрической аппаратурой, трамваем, троллейбусом и т. п. и, наконец, наиболее часто встречаемые (по мнению автора 80—90% всех помех) помехи, генерируемые различной электрической аппаратурой и излучаемые сетями. Автор указывает, что первый и третий типы помех являются наиболее опасными, так как наблюдаются в различных соотношениях и на больших расстояниях от мешающей приему электрической аппаратуры, в то время как второй тип помех наблюдается лишь в непосредственной близости.

Затем описываются помехи от электростанций и сетей, а также от генераторов, двигателей и преобразователей. Попутно автор описывает разные типы фильтров, их действие и методы применения в различных случаях. Следует отметить, что в книге довольно полно описана электрическая аппаратура, могущая создавать помехи, и конкретно в каждом случае указаны приемы борьбы с этими помехами, благодаря чему книга является до некоторой степени справочником.

Книга написана довольно популярным языком и рассчитана на широкие круги электриков-специалистов по производству и эксплуатации различной электроаппаратуры, которые в большинстве мало знакомы с вопросами радиотехники. Одновременно эта книга может оказаться полезной широким кругам радиотехников от квалифицированных радиолюбителей до инженеров.

И. С. Абрамсон

## БИБЛИОГРАФИЯ

### ДВЕ КНИГИ ПО РЕМОНТУ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

1. Инж. Б. В. ДОБРОХОТОВ. Организация планово-предупредительных ремонтов электрооборудования. 102 стр., 1939. Тираж 1000.

2. Инж. Л. И. ДЕЛЯТИЦКИЙ. Ремонт фабрично-заводского электрооборудования. 86 стр., 1938. Тираж 1000. Конспекты лекций, читаемых в Институте усовершенствования инженеров по энергетике, автоматике и связи ВНИТОЭ в 1937—1938 и 1938—1939 гг.

Вопросы ремонта заводского электрооборудования до настоящего времени остаются той областью, для которой очень мало сделано в отношении правильной организации. Несмотря на общепризнанное значение ремонта, подтвержденное правительственными указаниями, для электрооборудования не создано типовой системы ремонта и отсутствуют нормативные материалы. Кроме того можно отметить крайнюю бедность технической литературы по вопросам ремонта и почти полное отсутствие обмена опытом между заводами.

Некоторое исключение представляет заводское подстанционное оборудование и сети, для которых могут быть использованы материалы (типовые инструкции и аварийные циркуляры) б. Главэнерго, в частности, работы «Оргрезо». Но и эти материалы требуют переработки применительно к заводским условиям и объединения их единой системой.

В наиболее неблагоприятных условиях оказалось электрооборудование привода, т. е. основной вид электрооборудования предприятий. Если для станочного оборудования уже оформлена и внедрена система планово-предупредительного ремонта, то для электрооборудования привода не только нет разработанной системы и нормативных материалов, но отсут-

ствует и установившаяся технология основных видов ремонта. Недостаточная помощь со стороны заводов электропромышленности и игнорирование вопросов ремонта научно-исследовательскими организациями привели к тому, что заводы предоставлены самим себе, опыт работы никем не объединяется и не изучается. В то же время эксплуатация массового индивидуального привода вызвала ряд серьезных дополнительных требований к электрооборудованию привода, знание которых важно для заводов электропромышленности и проектных организаций (условия работы, воздействие окружающей среды, срок службы деталей и др.).

Основным последствием создавшегося положения является несоответствие исполнения электродвигателей производственным условиям работы и повышенная аварийность.

Аварийность электродвигателей производственных цехов в ряде машиностроительных заводов составляет 10—20% в год от общего количества работающих электродвигателей. Около 40—60% этого количества электродвигателей выходит из строя с повреждениями, требующими капитального ремонта. Стоимость капитального ремонта машин средней мощности приближается к стоимости новых машин, а стоимость ре-



монта машин малой мощности зачастую превосходит стоимость новых машин.

Проведенная в 1939 г. Институтом повышения квалификации инженеров НКМ научно-техническая сессия подтвердила наличие недопустимо высокой аварийности электродвигателей на машиностроительных заводах и несоответствие значительной части электродвигателей фактическим условиям работы. В решениях сессии указывается, что главным мероприятием по борьбе с аварийностью является внедрение системы планово-предупредительного ремонта и повышение качества ремонта. Основные положения такой системы уже определены на ряде передовых заводов, так же как и выявились наиболее рациональные технологические процессы ремонта.

Изложенное заставляет требовать от каждой книги, посвящаемой рассмотрению вопросов ремонта, прежде всего обобщения опыта и систематизации имеющихся материалов. Особенно ответственным является введение нормативов, не проверенных практикой. Естественно, что основные принципиальные положения должны быть особенно четкими и не допускать различного толкования.

Перед авторами стояла очень трудная задача — дать слушателям-инженерам материал, впервые систематизируемый, имеющий ряд спорных моментов и в то же время содержащий вполне конкретные методы и практические указания по организации и производству ремонта.

Оба конспекта этим требованиям полностью не отвечают, но ценность каждого из них различна.

1. Центральной темой конспекта лекций инж. Доброхотова является планирование ревизий и ремонтов. Весь конспект проникнут целью показать и доказать особую важность самого строгого планирования ревизий и ремонтов. Многократные повторения слов: «четкое планирование», «точные нормативы», «четкое проведение работ» и т. д. заставляют искать в конспекте данных для такого точного планирования. Но именно вопросы планирования изложены в конспекте особенно нечетко, а календарное планирование ремонтов, как таковых (в понимании автора), становится почти неразрешимой задачей. Это положение усугубляется неверным изложением систем ремонта и содержания отдельных видов ремонта.

Уже в первом разделе («Введение»), отмечая возможность «извращения и вульгаризации» системы планово-предупредительного ремонта (ППР), категорически утверждается, что система ППР включает «все виды ремонтов, в том числе и текущий и капитальный, которые все обязаны быть и плановыми и профилактическими». Однако далеко не все виды ремонтов входят в систему ППР, например, аварийный, реконструктивный и др., и не все виды ремонта планируются, что подтверждается и самим автором в таблице на стр. 9, где для эксплуатационных осмотров и мелких ремонтов указано — «не планируются».

Система ППР противопоставляется «принудительной системе ремонтов». Это является, хотя и распространенным, но совершенно ошибочным взглядом. Утвержденная Наркомашинем инструкция по организации ППР (приказ НКМ № 764) правильно указывает на недопустимость такого противопоставления и устанавливает, что система стандартных ремонтов («принудительная система») является только одним из методов проведения системы ППР, применение которого определяется режимом эксплуатации оборудования. Метод стандартных ремонтов для определенных режимов эксплуатации может быть вполне применен и применяется также и для электрооборудования. Заключение автора о «нерациональности» и значительных затратах ничем не подтверждается. Неправильное понимание методов системы ППР привело автора и к другим ошибкам в области планирования.

Как должно производиться техническое планирование ремонтов? Приведем дословную выдержку из конспекта инж. Доброхотова.

«Годовой план строится на основании годовых (и квартальных) заданий по нагрузкам и потреблению электроэнергии, получаемых от планового отдела завода, на основании чего ОГЭ (или ОГМ) строит годовые, квартальные и месячные графики загрузки электростанции или подстанции с учетом необходимых ремонтов оборудования, каковые определяют совместно с электроцехом на основании нормативов периодичности ревизий и предполагаемого объема ремонтов, получая в результате годовой план ревизий и ремонтов оборудования генерируемых и трансформирующих электрических устройств».

Приведенная выдержка (помимо неряшливого стиля изложения) очень характерна для всего конспекта, составленного из аналогичных самых общих положений, большинство которых достаточно хорошо известны.

В том же III разделе рассматривается вопрос технической ремонтной отчетности. Отчетность дается применительно к крупным агрегатам, так же как образцы форм карт ревизии. Об учете ремонтов «серийных» двигателей сказано, что он должен вестись «в паспортах, согласно правилам ведения паспортизации». Трудности такого учета при большом количестве электрических двигателей и частых ремонтах заставили передовые предприятия проводить выделение всего оперативно-технического учета от паспортизации, который служит иным целям.

В целом по вопросу планирования и организации ППР материал конспекта следует признать неудовлетворительным.

Существенные замечания могут быть сделаны об исходных данных планирования: содержанию и периодичности работ по ППР (раздел II). Приведенные табл. 1 и 2, заимствованные из материалов «Орпрэс», не отвечают выставленному требованию «точной характеристики содержания работ, дифференцированной по деталям и узлам агрегата». Для капитального ремонта дается перечень работ, каждой из которых достаточно для того, чтобы ремонт являлся капитальным. Пожизненная смена кабеля с муфтами и смена измерительного трансформатора отнесена к капитальному ремонту (табл. 2, стр. 33).

В состав работ системы ППР не включены испытания и проверки как отдельный элемент системы. Капитальный ремонт неправильно называется восстановительным. Неизвестно, что понимается под «мелким электрооборудованием». Не подчеркнутое значение текущего ремонта, как основного вида ремонта системы ППР, снижающего значение капитального ремонта и удлиняющего периодичность производства его.

В организации приемки оборудования из ремонта ни слова не говорится о качественной оценке ремонта. Между тем качественная оценка ремонта, как и состояние оборудования, является важнейшим показателем премиальных систем оплаты.

Вопросы оплаты труда ремонтного персонала, теснейшим образом связанные с организацией труда и планированием объема работ, полностью опущены в конспекте.

Запасным частям посвящен раздел IV. Правильно оценено значение обеспечения запасными частями. Но затем опущены только общие положения. Употребляемые термины: аварийный запас, эксплуатационный запас, нормативный запас и т. п. даны без всяких объяснений.

В таблице под названием «Таблица запасных частей электрооборудования» включены и материалы и резервное оборудование. Почти все, что относится к таблице к электрооборудованию привода, поражает своей непродуманностью. Например, для магнитных пускателей принято иметь в запасе один пускатель на каждые 10 пускателей одного типа. Трудно представить, к чему бы привело соблюдение таких норм запаса на средних и крупных предприятиях, имеющих только в отдельных цехах по несколько сотен пускателей типа ПМО. В то же время запасные части к пускателям предусматриваются в количестве не более трех комплектов на один тип. Более правильным было бы обратное соотношение.

Практическая ценность конспекта в настоящем его виде очень невелика. В нем немного найдется нового даже для оканчивающего студента, прошедшего производственную практику. Автором не использована даже та немногочисленная литература, которая имеется по вопросам организации ППР. То же самое можно сказать и об использовании опущенного материала заводов, имеющих определенные достижения в области проведения системы ППР (И ГПЗ им. Кагановича, ТЭВский автозавод им. Молотова и др.). Для оборудования электропривода остался неиспользованным обширный материал системы ППР станочного оборудования, многое из которого применимо и к электрооборудованию (метод периодических ремонтов, метод ремонтной сложности и т. д.). Заслугой института является включение курса в программу издания конспекта является по меньшей мере преждевременным.

2. Конспект лекций инж. Делятицкого значительно отличается от рассмотренного конспекта инж. Доброхотова по характеру подобранного материала, так и по форме изложения.

В разделе I («Общая часть») в сжатой форме даются новые положения системы допусков и посадок, отвечающие действующим ОСТ. Введение в практику ремонта электрооборудования системы допусков безусловно еще недостаточно, поэтому вполне уместно было дать общие положения системы в самом начале конспекта. Необходимо было специально остановиться на допусках в электромашиностроении.

Раздел II («Подготовительные работы») начинается с рассмотрения причин, вызывающих выход электрооборудования из строя. Но причиной ремонта необязательно должен

выход из строя. Наоборот, ремонт в основном должен проводиться по системе ППР, т. е. в плановом порядке. Поскольку приведенная классификация повреждений и их причин (рис. 16) является по существу классификацией аварий, недопустимо вводить в классификацию причин естественный износ. Действительной причиной будет отсутствие или несвоевременность ремонта. Кроме того, к характеру повреждений неправильно отнесены: неисправность станка, показание влаги, пыли и посторонних предметов. Это не повреждения, а причины повреждений.

Очень ценны таблицы обмоточных данных наиболее употребительных типов электродвигателей (табл. 2—9). Было бы полезно дополнить таблицы данными о весе обмоточного провода на каждый электродвигатель.

В технологический процесс восстановления обмоточного провода должно быть включено травление обожженного провода с последующей нейтрализацией и промывкой.

В разделах III («Обмоточные работы») и IV («Механосборочные работы») дано описание технологических процессов основных ремонтных работ. Производству обмоточных работ как таковых, уделено мало места, с чем можно согласитесь, учитывая, что по этим работам имеется достаточная литература. В описании процесса сушки и пропитки не указано значение вентиляции сушильных печей и шкафов, а также значение пониженной вязкости лака для пропитки и повышенной вязкости для покрытия. Вместе с лаками завода ХЭМЗ следовало дать лаки заводов треста Лакокраска. Длительность сушек преувеличена и дана, видимо, для плохо вентилируемых шкафов (стр. 42).

Неудачно составлен отдел «Регенерация масла». Для смены масла даны сроки вне зависимости от результатов

испытаний масла. Описание самых способов регенерации очень схематично. Нам представляется, что данный отдел следовало полностью исключить, так как вопросами очистки и сушки масла занимаются цехи, ведущие эксплуатацию подстанций или же, вместе с регенерацией, — самостоятельные масляные хозяйства.

Раздел IV нужно дополнить ремонтом высоковольтной аппаратуры.

В разделе V «Испытание машин после ремонта» автор, считая неприемлемым для заводских условий ни полные испытания, ни промышленные испытания, не предлагает своей полной программы испытаний двигателей. Приводя перечень дефектов, обнаруживаемых при испытаниях (стр. 69), автор не указывает границ допустимых отклонений. Совершенно опущены испытания изоляции обмоток электродвигателей на пробой и междувитковые замыкания. Раздел следовало дополнить описанием испытаний пусковой и защитной аппаратуры, а также способом испытания электродвигателей повышенной частотой.

При рассмотрении оборудования испытательных станций (табл. 17) описывается только основное оборудование. Нигде не сказано о приборах и приспособлениях.

Отсутствуют сведения по вопросам организации труда и подготовки рабочего места.

Все перечисленные недостатки, устранимые при последующем переиздании, не умаляют ценности конспекта, как для прослушавших лекции, так и для каждого работающего по ремонту заводского электрооборудования, хотя и не охватывает всех вопросов ремонта.

М. А. Шкурко  
Москва

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.	Стр.
К 70-летию со дня р.ждения В. И. Ленина . . . . . 1	Атабеков Г. И. — Упрощенная защита дистанционного типа от замыканий на землю . . . . . 49
Родоначальник русской науки. К 175-летию со дня смерти М. В. Ломоносова . . . . . 4	Сенилов Г. Н. — Индуктивный метод измерения линейных размеров . . . . . 51
Квашин В. С. и Тареев Б. М. — Современное состояние и важнейшие задачи производства электроизоляционных материалов . . . . . 6	Кудин И. П. — Электрометрические методы определения влажности хлопка . . . . . 53
Корицкий Ю. В. — Задачи научного исследования электрической изоляции в силовоточной электропромышленности . . . . . 11	Балыгин И. Е. — О делении высокого напряжения импульсной формы . . . . . 53
Квашин В. С. — Внедрение заменителей в производство электроизоляционных материалов . . . . . 13	Федченко И. К. — Одноударная импульсная прочность конденсаторной пропитанной маслом бумаги . . . . . 55
Варденбург А. К. — Электроизоляционные нефтяные масла и их заменители . . . . . 15	Таращанский М. М. — Основы теории преобразования частоты нового типа . . . . . 56
Андрианов К. А. — Новые электроизолирующие смолы, лаки, паста и компаунды . . . . . 19	Сыромятников И. А. — Сравнение охлаждения генераторов и синхронных компенсаторов при помощи воздуха и водорода . . . . . 58
Воробьев А. А. — Влияние механической нагрузки на пробивное напряжение твердых диэлектриков . . . . . 22	Лебедев В. Н. — О косвенном индивидуальном возбуждении гидрогенераторов . . . . . 59
Ярославский И. А. — Пути усовершенствования волокнисто-бакелитовой слоистой изоляции . . . . . 26	Городский Д. А. — Правило площадей и устойчивость синхронных генераторов . . . . . 61
Жебровский С. П., Олофинский Н. Ф., Рывкин П. М. и Балабанов Е. М. — Электрическая сепарация материалов с помощью коронного разряда . . . . . 29	Розенфельд В. А. — Математическая теория шкалы круговой диаграммы . . . . . 62
Палатник Л. С. — О составе и строении сплавов для контактов электротехнических аппаратов . . . . . 32	Смирнов Н. П. — Коэффициенты загрузки воздушных участков кабельных линий 6 кВ . . . . . 64
Брон О. Б. и Гальперин Л. Б. — Опыты отключения весьма больших токов к. з. . . . . 36	Суханов А. С. — Метод лучшего использования магнитной стали . . . . . 65
Атабеков Г. И. — Однорелейные схемы дистанционной защиты . . . . . 39	Краснушкин Н. П. — Высшие гармонические напряжения на шинах подстанций промпредприятий . . . . . 66
Гладилин Л. В. — Заземления в шахтных электросетях . . . . . 43	Радовский М. И. — Вениамин Франклин . . . . . 67
Трамбицкий А. В. — О стандартах электротехнических и некоторых других . . . . . 47	Рефераты . . . . . 69
	Библиография . . . . . 77

ИЗДАТЕЛЬ Госэнергоиздат

Зав. редакцией М. Г. Башкова. Техн. ред. С. К. Курапов

Отв. редактор Я. А. КЛИМОВИЦКИЙ

Сдано в набор 14/III 1940 г.  
Уполн. Мособлгорлита Б-5317.

Подписано к печати 5/V 1940 г.  
В 1 п. л. 60307 зн.

Печ. л. 10,5 Авт. л. 14,2  
Заказ 990. Тираж 10.550 экз.

13-я тип. ОГИЗа РСФСР треста «Полиграфкина». Москва, Денисовский 30.

# Достопримечательная установка для освещения сцены.

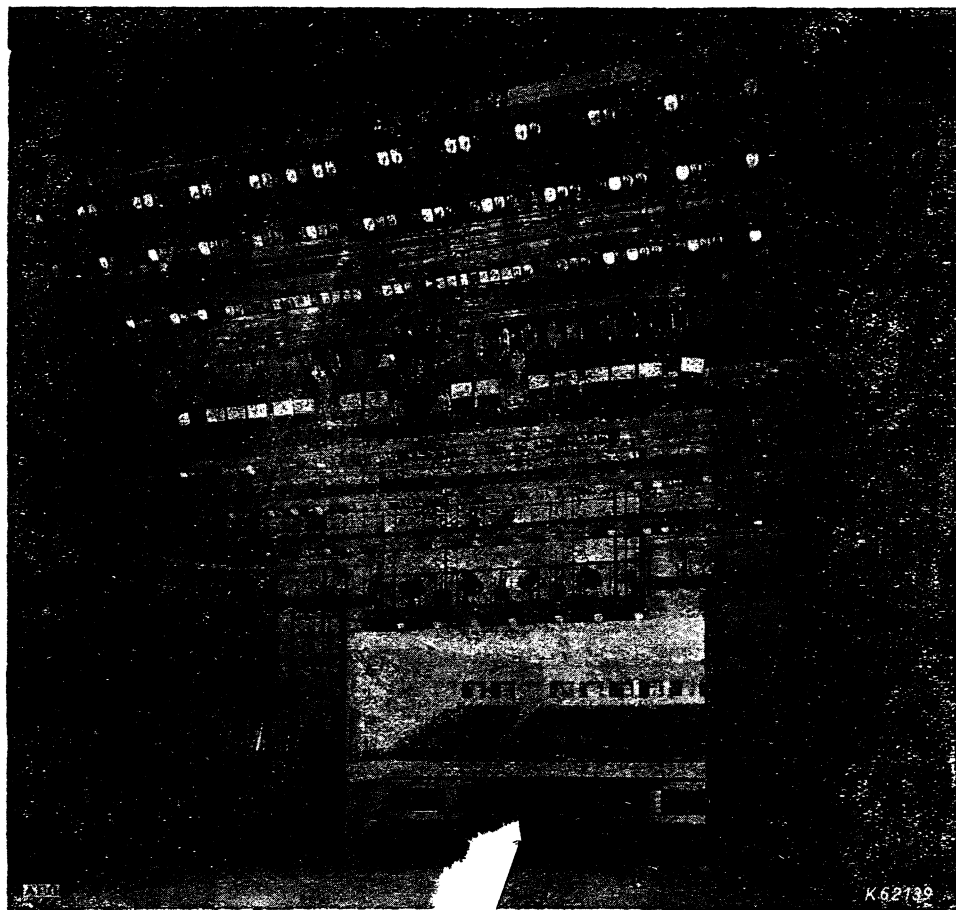
Сообщение фирмы AEG.

Новый Дессауский театр, выстроенный в 1935—38 гг., снабжен особенно богатым, современным оборудованием. Существенное участие в создании этого оборудования приняла и фирма AEG поставкой обширной установки для освещения сцены (см. фотографию).

Задача освещения круглого горизонта площадью свыше 1000 м<sup>2</sup> была разрешена следующим образом: 12 подвешенных на тросах фонарей, каждый с тремя трубчатыми лампами по 1000 W, являются главным источником

освещения. Все устройство расположено на мостовидной железной конструкции, перемещающейся моторным приводом вверх и вниз.

Также и все остальные необходимые осветительные устройства, как-то: рампы, софиты и прожекторы — были приноврены фирмой AEG к современным требованиям. Нижняя рампа может погружаться в пол и открываться вместе с передней частью пола сцены. Над сценой расположено семь верхних софит по 14 м длины снабженных также лампами для молний и лампами для рабочего освещения. На порталном мосту находится еще софит длиной 8 м, включаемый по третям, смотря по положению портала. Кроме того имеется 10-метровый порталный софит. Все рампы и софиты устроены по пятицветной системе; фонари же сконструированы по камерной системе и имеют оптические стеклянные зеркала для 150-ваттных ламп. Кроме того на сцене размещено несколько прожекторов, дополняющих описанные выше устройства; пять из них помещаются на порталном мосту, а три в башнях. Каждый из этих прожекторов рассчитан на 1000—3000 W. Десять других прожекторов расположены перед порталом, а два специальных прожектора по 3000 W с моторизованной сменной цветных стекол расположены над ярусами. Кроме того на сцене могут быть установлены и присоединены, смотря по надобности, передвижные прожекторы и прочие сценические приборы.



Освещение сцены Дессауского театра.

света. Регулировка яркости света и цветовых оттенков осуществляется механически диафрагмами и цветными стеклами натуральных основных цветов — т. е. желтого, красного, светлосинего и темносинего. Это механическое управление имеет ряд преимуществ по сравнению с электрическим; так например, можно одновременно все фонари включить на один цвет, чего нельзя достиг при подразделении освещения горизонта на группы с неподвижными цветовыми фильтрами. Затемнение диафрагмами не меняет цвета светящейся нити в лампах, что неизбежно при понижении напряжения электрическими регулировочными устройствами.

Для усиления особенно важного синего тона установлены еще четыре ртутных лампы общей мощностью 12 kW, которые также могут быть затемнены диафрагмами. Кроме того предусмотрены еще 32 дополнительные лампы, каждая с 1000-ваттной лампой, подразделенные на восемь групп для голубого, фиолетовосинего, зеленосинего и других синих оттенков.

Аппарат для изображения проходящих, поднимающихся или опускающихся облаков дополняет горизонтное освеще-

нение. Все устройство расположено на мостовидной железной конструкции, перемещающейся моторным приводом вверх и вниз. Также и все остальные необходимые осветительные устройства, как-то: рампы, софиты и прожекторы — были приноврены фирмой AEG к современным требованиям. Нижняя рампа может погружаться в пол и открываться вместе с передней частью пола сцены. Над сценой расположено семь верхних софит по 14 м длины снабженных также лампами для молний и лампами для рабочего освещения. На порталном мосту находится еще софит длиной 8 м, включаемый по третям, смотря по положению портала. Кроме того имеется 10-метровый порталный софит. Все рампы и софиты устроены по пятицветной системе; фонари же сконструированы по камерной системе и имеют оптические стеклянные зеркала для 150-ваттных ламп. Кроме того на сцене размещено несколько прожекторов, дополняющих описанные выше устройства; пять из них помещаются на порталном мосту, а три в башнях. Каждый из этих прожекторов рассчитан на 1000—3000 W. Десять других прожекторов расположены перед порталом, а два специальных прожектора по 3000 W с моторизованной сменной цветных стекол расположены над ярусами. Кроме того на сцене могут быть установлены и присоединены, смотря по надобности, передвижные прожекторы и прочие сценические приборы.

Платформа управления расположена сбоку на высоте 2,5 м над сценой. На ней помещается главное регулировочное устройство для находящихся в подвале трансформаторов. Этот аппарат имеет четыре рычажных вала на 32 рычага каждый; каждый рычаг может соединяться с обратной передачей, благодаря чему рычаги могут переставляться друг против друга независимо от направления вращения вала. Второй аппарат управления меньших размеров, имеет 3×5 рычагов для горизонтальных амбатур и дальнейшие 20 рычагов для цветных стекол некоторых прожекторов, расположенных в порталной раме. Сценический распределительный щит, служащий для управления освещения сцены, представляет из себя свободно стоящую мраморную доску с несколькими панелями. На передней стороне находятся только рукоятки обслуживания; аппараты же переключения (все контрольного типа) находятся на задней стороне щита. С той же платформы управления обслуживается и контролируется затемнение зрительного зала с тиратронным управлением. Кроме устройств для освещения сцены фирма AEG поставила также и все оборудование для предписанного запасного, специального и аварийного освещения, а также все устройство для снабжения током и токораспределения.

# К Л Е Й Н Е В Е Ф Е Р С

## ИГОЛЬЧАТЫЕ

экономайзеры

для использования тепла отходящих газов котельных установок для подогревания питательной воды.

## ИГОЛЬЧАТЫЕ

воздухоподогреватели

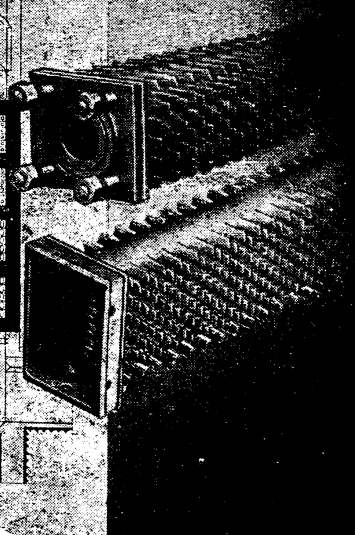
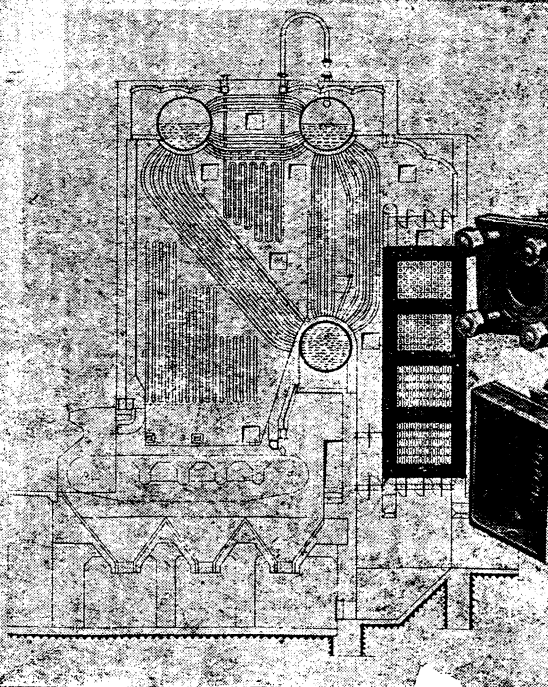
для использования тепла отходящих газов котельных установок для подогревания топочного воздуха.

Игольчатая поверхность нагрева зарекомендовала себя во многих тысячах установок.

Длина элемента до 3,5 м.

Обращайтесь к нам за советом во всех вопросах использования тепла отходящих газов.

Наши русские проспекты  
R 40/576 и R 40/501



**J. & P. KLEI NEWEFER**

ТЕЛЕФОН № 29145

Раньше: LIESEN & Co

**KREFELD / ГЕРМ.**

Адр. для тел.: ECOLUVO

Берлинская контора: Berlin NW 87, Lessingstr. 25 · Телеф.: 39 36 06 / Венская контора: Wien 117, Peter-Jordanstr. 33 · Телеф.: A 13-0-52

**Все во всем мире пользуются  
телефонными кабелями  
производства**

# Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi

**РЕФЕРЕНЦИИ:** 2000 км. международных пупинизированных кабелей. Тысячи километров городских и междугородних кабелей. Поставки в Британскую Индию, Сиа́м, Австралию, Египет, Южную Америку, Бразилию, Голландию и т. д., и т. д.



**CABLERIE**

**КАБЕЛЬНЫЙ ЗАВОД**



**CHARLEROI**

**ШАРЛЕРУА (Бельгия)**

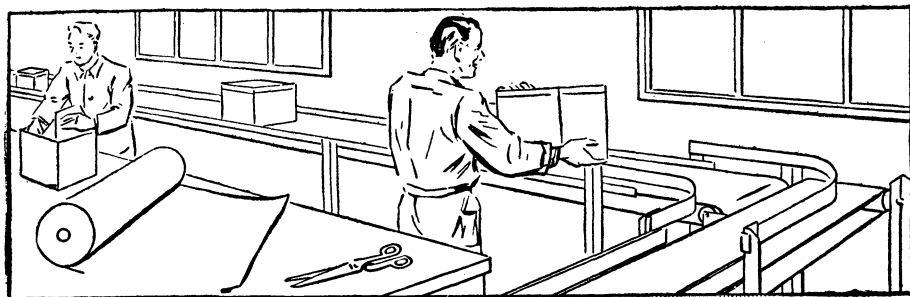


# SIEMENS

## ТЕХНИКА МЕЛКОГО ТРАНСПОРТА

# ПОЛЬЗУЙТЕСЬ МЕХАНИЧЕСКИМИ ТРАНСПОРТНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ!

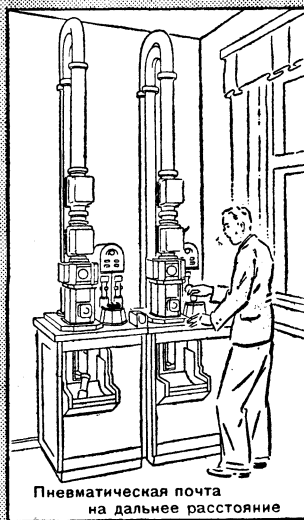
Пневматическая почта, грейферные устройства, подъемники, конвейерные ленты, передвигающиеся столы для транспорта бумаг, актов, фабричных деталей и других мелких предметов. Эти целесообразные транспортные устройства находят за последнее время все большее применение как в крупных так и мелких предприятиях. Они необходимы всюду, где требуется быстрая передача всякого рода мелкого материала.



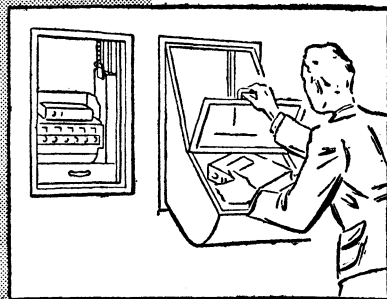
Конвейерная  
ленточная  
передача



Пневматическая почта с  
автоматическими стрелками



Пневматическая почта  
на дальнее расстояние



Подъемник кругового дви-  
жения с автомати-  
ческой разгрузкой



Пневматическая почта для образцов загрузки доменных печей

*С запросами просим обращаться по адресу*

SIEMENS & HARTKE AG · TECHNISCHES BÜRO OST · BERLIN-SIEMENSSTADT

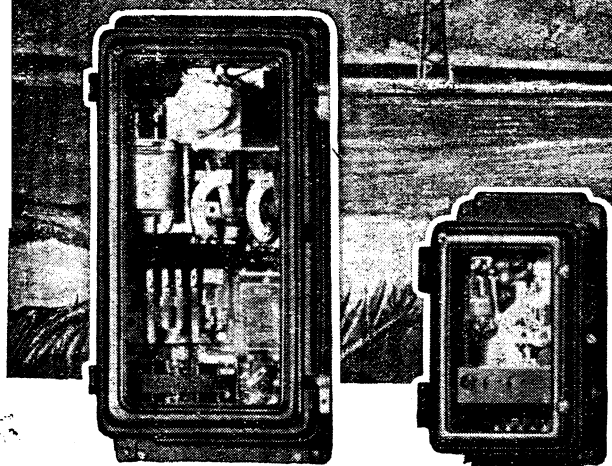
Zwa 024

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При выписке каталогов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала.

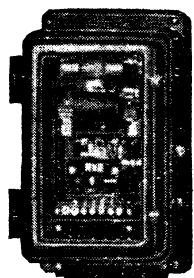


§  
**SIEMENS**

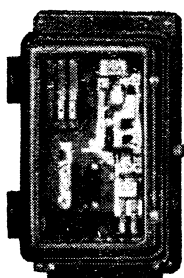
# ЗАЩИТА ИНТЕРКОННЕКТИРОВАННЫХ СИЛОВЫХ СИСТЕМ



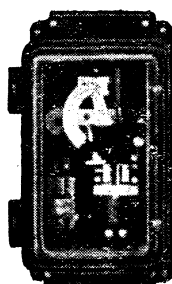
Однокомплектная импедансная защита типа RZ 4  
с учетом двухфазных замыканий на землю и вспомогательными к ней приставками особого назначения



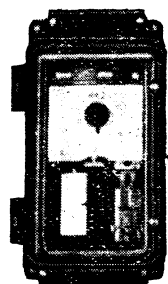
Приставка для  
реактантной защиты  
линий весьма  
короткого протяжения



Приставка для  
блокировки импедантной защиты  
при качаниях  
в соединенных системах



Приставка для  
импедантной защиты  
комбинированной  
с принципом дополни-  
тельного провода



Приставка  
для комбинированной  
импедансно-дифференциальной  
защиты

Быстродействующая защита по всей длине даже самых коротких кабельных и воздушных линий

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG · TECHNISCHES BÜRO OST  
BERLIN-SIEMENSSTADT

AZR002

Выписка зарубежных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При выписке каталогов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала.



# N. V. NEDERLANDSCHE KABELFABRIEK

DELFT (Голландия)

■■■■

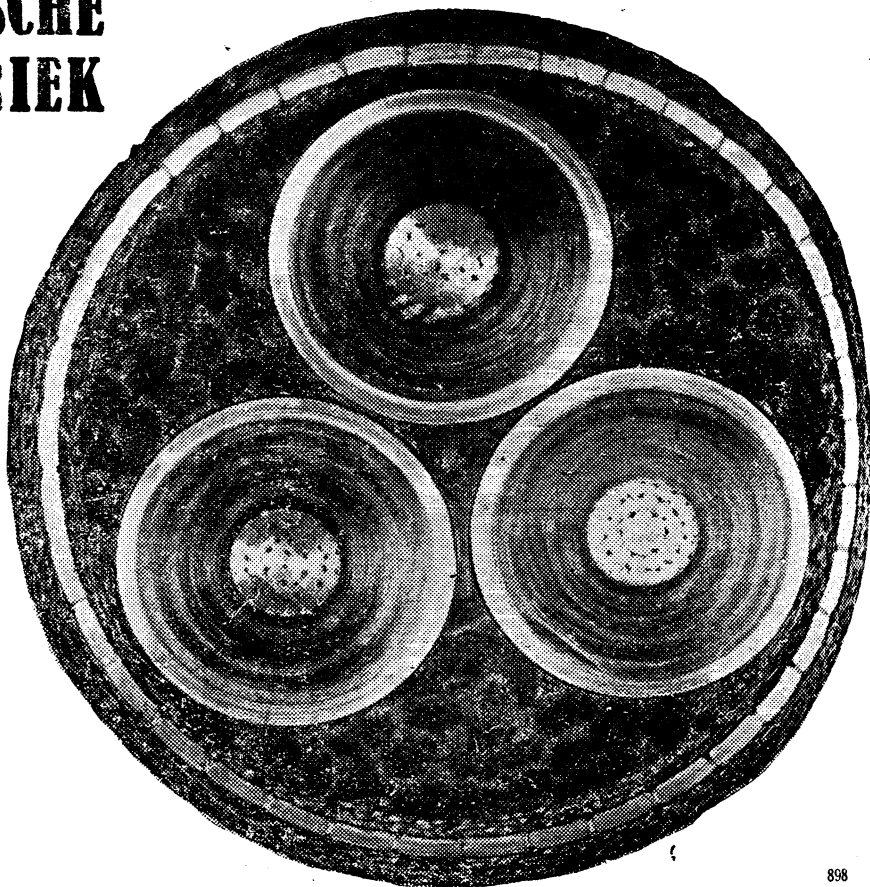
## ПРОИЗВОДИТ:

Подземные электрические  
кабели высокого и низкого  
напряжения с бумажной  
изоляцией

Подземные телефонные и  
сигнализационные кабели

Подводные кабели

Неизолированную проволоку  
и неизолированные кабели  
из электролитическ. меди



898



**Papierfabrik G.m.b.H.**  
vorm. **Brüder Kämmerer**  
**Osnabrück**

Телегр. адр.: **Papierfabrik Osnabrück**

**СПЕЦИАЛЬНАЯ ФАБРИКА ИЗОЛИРОВОЧНЫХ БУМАГ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ГODOBAY ПPOДУКЦИЯ 25 000 ТОНН.**

**Специальные сорта:**

**изолировочные бумаги для телефонных и телеграфных  
кабелей, бумаги для кабелей сильных токов и высших  
напряжений, бакелитовые бумаги и т. п.**

6761

# 2 ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРА

результат старательнейшей разработки. Точность по классу 0,2



Астатический  
ваттметр вели-  
чайшей точности



Защищенные амперметр  
и вольтметры

Самые новые, совершенные  
измерительные приборы

**HARTMANN & BRAUN AG FRANKFURT/M, ГЕРМАНИЯ**



## МАСЛЯНЫЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ ГЕРИНГА

для любого назначения  
с водяным или воздушным охлаждением.

Модели:

- с спиральной трубкой
- с параллельными стенками
- с масляными трубками и т. п.

Кроме того:

- Установки для очистки и для регенерации масла
- Вакуумные пропиточные установки
- Вакуумные сушильные шкафы
- Маслоподогреватели

Уже сотни наших установок поставлены до  
сих пор в СССР!

Требуйте наши подробные проспекты!

**Aktiengesellschaft**

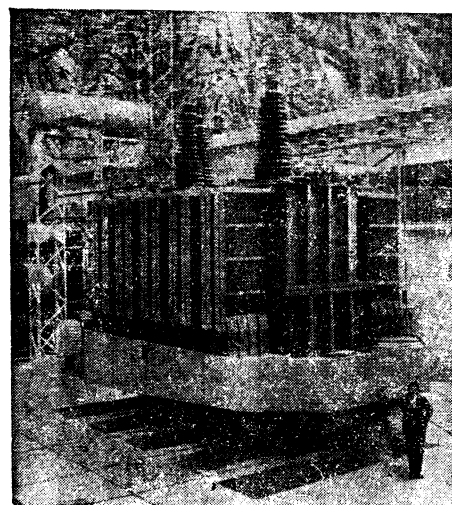
**A. Hering, Nürnberg 2**

(Abhofach)

Германия

6764

**SAVOISIENNE**  
SOCIÉTÉ  
DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES  
SAINT-ÉTIENNE  
FRANCE



Трансформатор 40.000 KVA—15/220 кв.

**ТРАНСФОРМАТОРЫ  
Конденсаторы**

Цена 5 руб.



# Электропаяльники Бартеля

Образцовой конструкции и высокой  
производительности; эконом-  
ные и надежные.  
Требуйте проспекты

„Barthel No. 2010“  
Gustav Barthel, Dresden-A. 21 Ve

G/B



## КОЛЛЕКТОР ЗАЩИЩАЕТСЯ

качествами наших угольных щеток. Их  
особыми признаками являются отличные  
коммутационные свойства, долговечность  
и большая надежность в эксплуатации.

# SCHUNK & EBE

GIESSEN-Германия



Технические камни  
для электрических  
счетчиков и измери-  
тельных приборов.

# SWISS JEWEL Co. S. A.

LOCARNO. (Швейцария)

Необработанные синтетические драгоценные камни

Выписка зарубежных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При выписке каталогов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала.