

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

Академии наук СССР

Совет Народных Комиссаров Союза ССР и Центральный Комитет ВКП(б) приветствуют Академию наук Союза ССР в связи с 220-летием ее существования.

Академия наук СССР отмечает свой юбилей в период, когда советский народ победоносно завершил Великую Отечественную войну с немецкими захватчиками. В дни войны советские ученые вели успешную работу, помогая своим трудом фронту и народному хозяйству нашей страны. Советские ученые внесли ценный вклад в дело разгрома врага. В институтах Академии наук плодотворно работают советские ученые—физики и химики, математики и астрономы, биологи и медики, геологи и географы, историки и философы, экономисты, праведы и филологи.

Наша наука дала миру великих ученых. Советский народ по праву гордится основоположником русской науки Ломоносовым, гениальным химиком Менделеевым, великими математиками Лобачевским, Чебышевым и Ляпуновым, крупнейшим геологом Карпинским, всемирно известным географом Пржевальским, основателем военно-полевой хирургии Пироговым, великими новаторами-биологами Мечниковым, Сеченовым, Тимирязевым и Павловым, замечательным преобразователем природы Мичуриным, искусным экспериментатором-физиком Лебедевым, создателем радиосвязи Поповым, основоположниками теории современной авиации Жуковским и Чаплыгиным, выдающимися двигателями русской революционной мысли—Белинским, Добролюбовым, Чернышевским, великим пионером марксизма в нашей стране—Плехановым.

Советский народ гордится тем, что он дал миру величайшего гения нашей эпохи, корифея передовой научной мысли, обогатившего и двинувшего далеко вперед марксизм применительно к новым условиям развития, основоположника теории перестройки современного общества в социалистическое общество на основе советской системы, основателя нашего Советского государства—Ленина.

Своими открытиями, изобретениями и исследованиями ученые нашей страны внесли неоценимый вклад в развитие мировой науки и общества.

Советские ученые добились крупных результатов во многих областях науки и техники. Однако все люди науки должны постоянно помнить, что в науке и технике имеется еще много нерешенных назревших проблем, над решением которых должны напряженно работать советские ученые. Советский народ ждет, что его ученые будут с успехом решать задачи, поставленные жизнью перед нашей наукой.

Совнарком Союза ССР и ЦК ВКП(б) выражают уверенность в том, что и в дальнейшей своей деятельности Академия наук Союза ССР будет развивать лучшие традиции нашей отечественной и мировой науки, всемерно использовать ее достижения для развития хозяйства и культуры народов СССР, еще выше поднимет авторитет советской науки среди народов мира.

Совет Народных Комиссаров Союза ССР

*Центральный Комитет Всесоюзной
Коммунистической Партии (большевиков)*

ул. М. И. Ульяновой, дом 1

областной

Р. Баб-шикина

От участников Юбилейной сессии Академии Наук СССР

**ПРЕДСЕДАТЕЛЮ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОМИТЕТА ОБОРОНЫ,
ПРЕДСЕДАТЕЛЮ СОВЕТА НАРОДНЫХ КОМИССАРОВ СОЮЗА ССР
ТОВАРИЩУ И. В. СТАЛИНУ**

Дорогой Иосиф Виссарионович!

Юбилейная сессия Академии Наук СССР, посвященная празднованию 220-летия Академии Наук, приветствует Вас—Главу Правительства и вождя народов Советского Союза, стратега и полководца, возглавляющего вооруженные силы страны.

Празднование 220-летия со дня учреждения Академии Наук Петром I совпадает с периодом величайших исторических событий, определяющих судьбу человечества. Советское государство под Вашим руководством победоносно завершило Всенародную Отечественную войну против германского фашизма. Героическая Красная Армия водрузила знамя победы над Берлином и, вместе с войсками союзников, принудила врага в его поверженной столице подписать акт о безоговорочной капитуляции.

Воплощены в жизнь Ваши гениальные стратегические предначертания, сформулированные в грозные дни начала Отечественной войны. Осуществлены Ваши мудрые предсказания о неминуемой гибели немецко-фашистского империализма, вероломно напавшего на нашу Родину 22 июня 1941 г. Великий русский народ, во главе всех народов Советского Союза, одержал историческую победу над врагом, отстояв свободу, независимость страны и завоевания Октябрьской Социалистической Революции.

Красная Армия спасла европейскую цивилизацию от фашистских погромщиков. Народы Европы спасены от порабощения и истребления, они обрели возможность возродить свою государственность, демократию и национальную культуру.

Уничтожение фашистского варварства и тирании открыло величественные перспективы дальнейшего прогресса и расцвета культуры и науки.

Для советских ученых основными принципами научной деятельности и служения своей Социалистической Родине были и навсегда останутся Ваши глубокие идеи о единстве теории и революционной практики, о передовой науке, не знающей фетишей, науке, крепчайшими узами связанной с народом, науке, являющейся руководством для действия.

Ваши классические труды о диалектическом и историческом материализме, по национальному вопросу, теории социалистического государства, военной стратегии и тактике, развивая учение Маркса—Ленина, создали новую эпоху в науке, оказали огромное влияние на современную исследовательскую мысль и являются непревзойденными образцами научного творчества, на которых учатся советские ученые всех поколений. Избрание Вас почетным академиком явилось выдающимся событием в истории Академии Наук СССР и встретило горячую поддержку и одобрение всей научной общественности страны.

Ваше повседневное внимание к развитию просвещения и науки в стране и поддержка творче-

ской инициативы советских ученых служат мощным фактором расцвета науки в СССР.

Крупнейшим стимулом развития науки в СССР являются учрежденные Правительством Сталинские премии, присуждаемые передовым ученым страны. Каждый советский ученый считает великой честью носить высокое звание лауреата премии Вашего имени.

Академия Наук СССР — старейший центр русской науки, с первых дней существования советской власти, пользовалась заботливым вниманием партии Ленина — Сталина, мудро направлявшей ее деятельность и развитие. За годы советской власти Академия Наук выросла в крупнейшее научное объединение институтов, лабораторий и станций.

По Вашему призыву в годы Отечественной войны Академия Наук направила все свои силы на защиту Родины от коварного и беспощадного врага, разрабатывая способы усиления вооружения Красной Армии, содействуя развитию промышленности и сельского хозяйства. Многие ученые участвовали в боях на фронтах, в обороне Москвы и Ленинграда.

Радостный праздник величайшей победы, одержанной нашей Родиной над фашизмом, вызвал новый подъем в научной деятельности институтов, лабораторий и экспедиций Академии Наук. Юбилейные торжества, посвященные 220-летию Академии, являются праздником, демонстрирующим успехи всей советской науки и ее центра — Академии Наук Советского Союза, праздником, зовущим нас к новым успехам.

Исключительные возможности, созданные в СССР для деятельности Академии Наук, налагают на ее членов и сотрудников задачи дальнейшей напряженной работы в области теоретических и прикладных наук, разработки новых путей использования неисчерпаемых богатств нашей страны. Мы приложим все силы к скорейшей ликвидации последствий военных разрушений, к всемерному развитию работы, направленной на усиление военно-экономического могущества Советского Союза.

Академики, члены-корреспонденты и весь коллектив ученых Академии Наук будет и впредь бороться за процветание передовой советской науки, завоевывая новые вершины теории и добиваясь новых успехов, соответствующих всемирно-исторической роли нашей Родины.

Да здравствует передовая советская наука и ее лучшие представители!

Да здравствует советский народ, которому служит наша наука!

Да здравствует победоносная героическая Красная Армия!

Да здравствует Всесоюзная Коммунистическая партия большевиков!

Да здравствует гениальный, ученый и вождь народов Иосиф Виссарионович Сталин!

Принято на торжественном заседании Юбилейной сессии Академии Наук СССР 16 июня 1945 г.

Советские метрологи в международных метрологических организациях

Член-корреспондент Академии наук СССР, проф. М. А. ШАТЕЛЕН

Развитие мировых международных сношений как торговых, так и промышленных вызвало настоятельную потребность в унификации хотя бы основных единиц измерений или по крайней мере в установлении определенных соотношений между единицами, применяемыми в разных странах. Задача эта была весьма сложная и трудная. Ее осложняло еще то обстоятельство, что изменявшиеся даже в каждой отдельной стране единицы измерений были весьма различны и вообще весьма плохо определены. Для примера скажу, что к концу XVIII в. в различных странах словом фунт обозначали 391 различных единиц веса, а словом фут — 282 различных единиц длины.

Первая серьезная попытка к унификации единиц измерений была, как известно, сделана во время Великой французской революции, когда была создана десятичная метрическая система. Эта система предназначалась для всеобщего употребления на вечные времена: *Pour tous les temps et pour tous les peuples* — для всех времен и для всех народов — было гордым девизом этой системы.

Казалось бы, что метрическая десятичная система, основанная на базе таких естественных, практически неизменяющихся величин, как длина земного меридиана и плотность воды при определенных условиях, удобная для всяких математических вычислений, должна была бы скоро завоевать мировое господство тем более, что все страны мира страдали от несовершенства своих систем измерений и всячески стремились их усовершенствовать.

Однако действительность оказалась иной: еще и в настоящее время ряд стран, главным образом англо-саксонских, сохранили свою систему измерений, построенную на совершенно других основаниях. Правда, и в этих странах метрическая система принята — явно в качестве необязательной и неявно, но в качестве обязательной, как система, лежащая в основе принятой во всем мире системы CGS и систем электрических и магнитных единиц. Это универсальное применение метрической системы и системы международных единиц для разных физических величин было достигнуто не сразу, а после длительных работ, после большой борьбы между сторонниками тех или иных взглядов.

В этом громадном деле, деле международной унификации единиц измерений, наши метрологи и в дореволюционной России и в Советском Союзе сыграли выдающуюся роль. Об их работах я и хотел бы напомнить.

В старые времена вопрос об унификации единиц измерений в каждой стране решался просто — признанием только мер своей страны, запрещением всех иных. Так, например, в России еще в XVII в. иноземцам запрещалось иметь какие бы то

ни было весы, а предписывалось им «весить всякие заморские и русские товары в таможнях», конечно, на русских весах и в русских мерах. Однако уже в половине того же XVII в. России пришлось ввиду развития ее торговых сношений с Англией установить соотношение между английскими мерами и русскими, в частности между аршином русским и дюймом английским. Эта работа была выполнена тогдашними русскими метрологами.

Долгое время, вплоть до введения у нас метрической системы, система русских мер — сажень, аршин, фут, дюйм, фунт и пр. — базировалась на основных английских единицах. Однако стремление усовершенствовать нашу систему мер побудило наших метрологов обратить свое внимание и на метрическую систему. Это было в 50-х годах XIX в. К этому времени стремление ввести метрическую систему проникло даже в Англию. После первой Всемирной выставки 1851 г. в Лондоне, явно обнаружившей затруднения, встречаемые промышленностью и торговлей вследствие разнообразия единиц мер в разных странах, Английское общество содействия искусствам, промышленности и торговле обратилось к правительству Англии с представлением о желательности введения единообразия в системах мер и весов в разных странах. В 1855 г. было организовано уже в Париже Международное общество для введения единообразной десятичной системы мер, весов и монет.

Почти в то же время вопрос об введении метрической системы поднимается и в России. Академик Купфер представляет министру финансов доклад о метрической системе. В 1858 г. общим собранием нашей Академии наук организуется специальная комиссия для рассмотрения этого доклада в составе академиков Ленца, Перевозчикова, Остроградского, Струве и Якоби. Интересно заключение этой комиссии, содержащееся в ее «Донесении» Академии наук. Заключение это таково:

1. Десятичная система монет, мер и весов, основанная на метре, лучше всех систем удовлетворяет потребностям промышленности, торговли и науки.

2. Весьма полезно ввести эту систему у нас в России потому, что она принята в большей части Европы, и потому, что международные сношения России с прочими государствами всего света будут чрезвычайно облегчены.

3. Полезно сохранить старые названия мер и весов.

Соответственно этому последнему мнению комиссия предлагала назвать:

метр	— новый аршин,
сантиметр	— новый дюйм,
литр	— новый штоф и т. д.

Интересно отметить, что мысль не менять на-

званий единиц, сменив самые единицы, вновь появилась и в международной работе в самое последнее время, когда при установлении единицы силы света, основанной на изменении абсолютно черного тела, было решено не менять названия, единицы силы света «свечи», а придать ей только прилагательное, назвав эту единицу «новая свеча».

С 1859 г. начинается уже активное участие русских метрологов в международной метрологической работе. В этом году академик Купфер уже выступает официальным представителем нашей Академии наук в Англии на собраниях Международного общества для введения единообразной десятичной системы мер, весов и монет. Начинается работа и других метрологов. Но особенное развитие это участие в международной работе русских ученых начинает получать с 1867 г. В этом году, опять-таки в связи с Всемирной выставкой в Париже, на Международной конференции мер, весов и монет первую секцию этой конференции, в которой разбирались вопросы о единстве мер и весов, возглавлял русский академик Якоби. Он выступил с докладом о состоянии вопроса о единстве мер.

В 1869 г. академик Якоби внес предложение об организации Международной конференции по вопросам, связанным с изготовлением прототипов основных мер. В своих предложениях Якоби впервые подверг критике идею, которая была так громко и настойчиво прокламирована при введении метрической системы, именно идею, что за основные единицы мер должны быть взяты величины «вечные, неизменяемые», которые всегда можно будет восстановить в случае исчезновения эталонов. Эти единицы должны быть таковы, что они могли бы быть восстановлены даже, по выражению Араго, в случае, если «землетрясения и страшные катастрофы посетят нашу планету и уничтожат прототипы мер, хранящихся в архивах». За такие вечные величины были приняты десятиллионная доля четверти Парижского меридиана — для длины и масса кубического дециметра воды при температуре наибольшей плотности — для массы. Идея вечности выбранных основных единиц принималась с энтузиазмом и не подвергалась сомнениям. Однако вскоре благодаря успехам в измерительной технике было найдено, что длина метра, определенного в 1799 г., отличается от длин метра, определенных последующими геодезическими измерениями. Точно так же и вес эталонного килограмма отличается от вновь определенного веса кубического дециметра воды при температуре наибольшей плотности. Таким образом, осуществленные прототипы основных единиц уже не представляли с достаточной точностью тех «естественных» величин, которые были приняты за единицу длины и массы. Дальнейший прогресс в измерительной технике грбзил сделать это расхождение еще большим. Академик Якоби внес предложение, по тогдашним условиям достаточно смелое, отказаться от идеи единиц, взятых из природы, и за основные единицы длины и массы принять изготовленные в 1799 г. прототипы. Для получения их копий, для их хранения и обеспечения наиболее возможной неизменяемости он предложил создать специальный международный орган.

Для рассмотрения предложений Якоби Российской академией наук была образована подготовительная комиссия, соображения которой,

одобренные нашей Академией наук, были переданы во Французскую академию. Последняя целиком одобрила предложения Российской академии и это решение двух академий положило начало международной метрологической организации, действующей и до настоящего времени.

В 1870 г. было создано первое собрание этой конференции. Собрания повторялись потом в 1872 и 1873 гг. В них самое активное участие принимали русские делегаты, академики Вильд и Струве и особенно Якоби, получавший неоднократно благодарность за свои работы. В результате работ конференции была собрана уже дипломатическая конференция из официальных делегатов всех стран, на которой и была принята метрическая конвенция и организованы Международный комитет мер и весов и Международное бюро мер и весов, имевшее задачей хранение прототипов мер и выполнение подготовительной работы для Международного комитета и для генеральных конференций мер и весов.

Метрическая конвенция, подписанная странами-участницами 20 мая 1875 г., положила прочное основание всей международной метрологической работе и обеспечила сохранение единства мер во всем мире. Метрической конвенцией было положено начало мировой службы мер и весов, и мы можем гордиться тем, что инициаторами этой конвенции были русские метрологи и что организовалась она в значительной степени благодаря трудам и настойчивости русских ученых. Немедленно после подписания метрологической конвенции началось работу Международное бюро мер и весов, подготовив для 1-й Генеральной конференции, собравшейся в 1889 г., прототипы основных единиц — метра и килограмма, которые и были распределены между странами, подписавшими метрическую конвенцию.

В дальнейшем русские метрологи, в основном работники Главной палаты мер и весов, активно продолжали свою международную работу.

Из этих работ особенно замечательны работы Д. И. Менделеева по созданию прототипов мер длины (аршин) и массы (фунт) и по установлению точных соотношений между русскими единицами мер и метрическими, подготовившими почву для введения у нас метрической системы. Работа Д. И. Менделеева, исключительная по качеству, знаменита еще тем, что она выполнена в исключительно короткий срок, во много раз меньший того, который потребовался для аналогичных работ в других странах: шесть лет вместо 20 (Англия) и 15 (Франция).

Особенно интенсивно международная работа наших метрологов пошла после Великой Октябрьской революции. Она касалась и основных эталонов (метра и килограмма), но особенно большая работа велась по эталонам и единицам электрическим, магнитным, тепловым и световым.

Громадный интерес, возникший после первой мировой войны во всем мире к вопросам энергетики, вызвал необходимость в ряде метрологических работ в области тепловых, световых явлений и особенно в области измерений электрических и магнитных величин. Необходимость этих работ особенно чувствовалась у нас в Союзе ССР, где шла уже громадная работа по электрификации страны, начатая великим Лениным, и где строилась заново вся электрическая промышленность.

С самого своего основания и генеральные конференции мер и весов, и Международный комитет мер и весов, и Международное бюро мер и весов занимались исключительно эталонами мер длины и массы и еще частично вопросами термометрии, поскольку точное измерение температур было необходимо для работ с основными эталонами. Однако нужды различных областей техники заставляли неоднократно поднимать вопрос о распространении деятельности этих международных организаций и на эталоны других единиц и мер. Прежде всего возник вопрос о включении в ведение Международного комитета также и электрических единиц. Вопрос этот возник после того, как в 1881 г. Парижским электрическим конгрессом была принята измененная система электрических единиц. В конгрессе 1881 г. деятельное участие принимал русский ученый профессор А. Г. Столетов, благодаря настойчивости которого конгрессом были приняты не только электромагнитная система единиц, но и электростатическая. Тогда же был поднят вопрос, чтобы эталоны этих единиц, наравне с метром и килограммом, хранились и поддерживались работами Международного комитета мер и весов. Предложение это было внесено группой метрологов, в числе которых были наши академики Вильд и Ленц. Однако это предложение принято не было, главным образом, вследствие оппозиции Германии. Лишь в 1921 г., после первого поражения Германии, этот вопрос получил положительное решение и при Международном комитете мер и весов был организован специальный Консультативный комитет по электричеству. В трудах этого комитета советские метрологи, особенно работники Главной палаты мер и весов, приняли самое активное и часто инициативное участие. Ими был произведен ряд чрезвычайно важных работ, связанных с изготовлением электрических эталонов и их спецификацией.

Особенно большое значение имели работы по сравнению электрических эталонов главнейших стран мира. Для этих сравнений кроме обычных способов был применен еще один новый—несколько эталонов было отправлено, так сказать, в кругосветное путешествие, в котором они сравнивались с эталонами в главнейших странах. Результатом этих работ был ряд мемуаров и предложений, представленных в Международный комитет мер и весов от имени Главной палаты. О числе и значении этих трудов можно судить хотя бы по тому, что в изданных отчетах Международного комитета, в которых помещались лишь наиболее важные работы, в 1929 г. были помещены две работы Главной палаты, в 1931 г.— пять работ, в 1933 г.— шесть и т. д. Необходимо отметить, что в числе этих работ были работы, касающиеся эталонов магнитных единиц, на которые было обращено особое внимание наших метрологов, являющихся инициаторами в этом деле. Работы Консультативного комитета привели к имеющему громадное значение решению о замене «международной» системы электрических единиц «практической абсолютной системой». Решение это должно было быть проведено в жизнь с 1940 г., выполнению чего помешала война.

Не меньшее, если не большее, значение имели труды наших метрологов в области световых единиц. В частности, по инициативе представителя

СССР в Международном комитете мер и весов не без длительной борьбы с некоторыми странами был образован специальный Консультативный комитет по фотометрии. В трудах этого комитета по установлению эталонов силы света и светового потока Главная палата мер и весов приняла самое активное участие. К сроку, когда вместо «международной свечи» в качестве единицы силы света должна была быть введена «новая свеча», Главная палата осуществила эталон этой единицы с возможной метрологической точностью.

Точно так же активное участие принимали советские метрологи и в работах по тепловым единицам. По их инициативе был создан Консультативный комитет по термометрии, для которого был выполнен Главной палатой мер и весов ряд работ, напечатанных в отдельных изданиях (на русском и французском языках), издававшихся Главной палатой и затем Всесоюзным институтом метрологии и стандартизации, под общим заглавием «Сообщения международному комитету мер и весов». В сборник за 1935 г. вошли работы по международной температурной шкале и по единице количества теплоты.

Большую работу проделали русские метрологи и по вопросу о введении в качестве единицы длины — длины световой волны.

Особенную инициативу наши метрологи проявили в вопросах, касающихся международных работ по прикладной метрологии. По инициативе СССР в Париже французским правительством была созвана особая Международная конференция по прикладной метрологии, вызвавшая большой интерес. Было принято решение организовать постоянный международный орган по прикладной метрологии и установить периодические собрания конференции по прикладной метрологии. Война помешала осуществлению этих начинаний.

Международная метрологическая работа велась не только в Международном бюро мер и весов, но и в ряде других международных организаций. В частности, работы по электрическим и магнитным величинам велись Международной электротехнической комиссией, по световым единицам—Международной комиссией по освещению и т. д. В работах этих международных организаций также активно участвовали наши ученые, работавшие в Комитете по участию СССР в международных электротехнических объединениях, объединявшем представительства СССР в Международной электротехнической комиссии, в Международной комиссии по освещению и других. Большую работу выполнили и комиссии Академии наук СССР, в частности, Комиссия по единицам мер и Комиссия по светотехнике. По вопросу о введении в качестве единицы длины—длины световой волны много сделано Государственным оптическим институтом; много сделано в разных областях и другими нашими учеными и научными организациями. Однако основная работа была произведена нашей Главной палатой мер и весов, впоследствии переименованной во Всесоюзный институт метрологии и стандартизации и ныне во Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии. Этому учреждению мы обязаны нашими успехами в международной метрологии. Авторитет Главной палаты в международных работах был настолько велик, что она

неизменно фигурировала в небольшом числе основных метрологических лабораторий мира. В настоящее время из их числа работают только три— в САСШ (Бюро стандартов), в Англии (Национальные физические лаборатории) и у нас (ВНИИМ).

Из короткого моего очерка можно заключить, какую громадную, во многих случаях инициативную работу выполнили наши метрологи. В этом их большая историческая заслуга перед всем миром. Работы не прекращались ни во время войн, ни во время революционных событий. Наоборот, в этот период работа шла особенно интенсивно и после войн мы выступали на международной арене с

большим багажом работ и предложений. Наши метрологи кроме научных достоинств всегда отличались инициативностью и настойчивостью. Эти свои свойства они, конечно, проявят и теперь, когда весь мир будет восстанавливать свою нормальную хозяйственную жизнь, вероломно нарушенную фашистской Германией.

Точные измерения — основа всякого прогресса в науке и технике. Они необходимы для всех. Поэтому метрологическим работам может быть полностью присвоен девиз метрической системы «Для всех времен и для всех народов». В эту работу для всех народов наши советские метрологи внесли большой вклад.

Из истории электрических эталонов

Инж. Н. А. ШОСТЬИН

100 лет тому назад было положено основание Государственной службы мер и весов в России и установлено в законодательном порядке единообразие применяемых в народном хозяйстве мер и единиц измерения. Согласно Положения о весах и мерах от 4 июня 1842 г. с 1 января 1845 г. на всей территории России должны были употребляться только российские меры длины, веса, жидких и сыпучих тел, причем величина их была точно установлена, а контроль над их применением был регламентирован и возложен на государственные органы как в центре, так и по всей территории страны.

В истории развития государственной службы мер и весов важное место занимает установление электрических эталонов. Непрерывно расширяя сферу своей деятельности, еще со времен Д. И. Менделеева, бывшего с 1893 г. по 1907 г. управляющим Главной палатой мер и весов и создавшего в числе других лабораторий электроизмерительную лабораторию, центральный метрологический орган этой службы провел большую работу также в области повышения точности электрических измерений, — прежде всего на основе создания эталонов электрических единиц.

Этому предшествовала проводившаяся в общеевропейском масштабе работа по установлению единиц измерения и их эталонов, которая началась почти одновременно с созданием Государственной службы мер и весов и в которой русским ученым принадлежала почетная роль.

Как известно, исходные предпосылки для создания системы электрических (и магнитных) единиц были заложены еще в 1832 г. Гауссом, указавшим в своей абсолютной системе единиц метод выражения единиц всех физических величин через единицы основных величин, за которые были приняты длина, время и масса. Работа Гаусса была продолжена Вебером, предложившим в 1851 г. определять единицы э. д. с. и силы тока в абсолютной мере, т. е. через единицы основных величин системы Гаусса, и выражать через них электрическое сопротивление как производную величину. Однако

по отношению к единицам электрических величин научная практика первоначально подходила независимо от метода Гаусса, стремясь прежде всего создать их конкретные материальные образцы (эталон) и, ориентируясь на электрическое сопротивление, как на основную величину. Первые попытки в этом направлении тесно связаны с именами русских ученых.

В 1838 г. Э. Х. Ленц предложил принять сопротивление медной проволоки № 11 длиной в 1 фут в качестве единицы сопротивления, а в 1848 г. Б. С. Якоби изготовил и разослал физикам того времени в качестве эталона сопротивление медную проволоку длиной в 25 футов, весом 345 гран и диаметром около $\frac{3}{4}$ мм. Единица Якоби, составлявшая приблизительно 6,3 Ω , получила значительное распространение в Европе.

В 1860 г. Сименс изготовил первый ртутный эталон единицы электрического сопротивления (в форме ртутного столбика, длиной 1 м и поперечным сечением 1 мм²), который подобно эталону Якоби нашел широкое применение.

В половине XIX в. различными учеными делались попытки установить и воспроизвести материально единицы э. д. с. и силы тока. Единицей э. д. с. служила обычно э. д. с. какого-либо гальванического элемента (чаще всего Даниэля), а единицы силы тока основывались преимущественно на электролитическом действии тока (Б. С. Якоби предложил принять за единицу силу тока, могущего разложить в 1 сек 1 мг гремучего газа).

Однако отсутствие специальных соглашений (между учеными отдельных стран и в международном масштабе), особых метрологических институтов и общепринятых спецификаций не благоприятствовали созданию единства в области электрических единиц измерения. В 60-х годах прошлого столетия были в ходу 14 различных единиц сопротивления, 5 единиц силы тока и 8 единиц э. д. с. Кроме того недостаточно высокий уровень техники изготовления эталонов не давал никому из них значительных преимуществ перед другими; даже эталоны, изготовленные разными уче-

ными в той или иной одинаковой форме (элемент Даниэля, единица сопротивления Якоби, единица сопротивления Сименса и пр.) обнаруживали значительные расхождения в своих численных значениях. По отношению к электрическим эталонам даже малая разница в составных частях сплавов и небольшие изменения в способах обработки материалов, чего в то время практически невозможно было избежать, играли большую роль, вызывая недопустимые для эталонов величины расхождений. Отсюда — длительные колебания в выборе материала для эталонных сопротивлений, в выборе определенного гальванического элемента в качестве эталона э. д. с. и пр., даже в период совместной работы ученых различных стран.

Систематическая работа по установлению единообразия электрических единиц началась в Англии, где в 1861 г. была создана Комиссия по эталонам электрического сопротивления (Committee on Standards of Electrical Resistance), преобразованная затем в Комиссию по электрическим эталонам. Эта комиссия, развивая идеи Гаусса, разработала абсолютные электромагнитную и электростатическую системы единиц, предложила пользоваться для практических целей электромагнитной системой как наиболее удобной, положила основы абсолютной практической системы единиц (вольт, ома, или в дальнейшем ом, и фарада), приняла в качестве основных единиц ом и вольт и создала вещественный эталон ома из сплава, составленного из двух частей серебра и одной части платины (Максвелл, Флеминг Дженкин и Бальфур Стюарт). Численные значения единиц практической системы, представляющие, как известно, кратные (10^n) от абсолютных электромагнитных единиц э. д. с. и сопротивления, были определены, исходя из стремления приблизить их к значениям э. д. с. гальванических элементов и наиболее распространенной в то время единицы электрического сопротивления, а именно единицы Сименса. Работы этой комиссии, закончившиеся в основном в 1870 г., были продолжены на международных конгрессах и конференциях.

Первый международный конгресс электриков (Париж, 1881 г.), на котором в качестве представителя России был проф. А. Г. Столетов, расширил абсолютную систему практических единиц, добавив в нее ампер и кулон, рекомендовал принять ее в международном масштабе и предложил перейти к ртутным образцам единицы сопротивления.

Вторая международная конференция (Париж, 1884 г.), учитывая значительные успехи, достигнутые в измерении ртутных образцов ома, сочла возможным нормировать их длину, установив временно (на 10 лет) длину ртутного столбика 106 см.

Чикагский конгресс 1893 г. предложил отказаться от абсолютной практической системы, базирующейся на теоретических определениях электрических единиц, и перейти к разработанной им системе международных практических единиц, основывающейся на эталонах электрических единиц; в данном случае конгресс учитывал невозможность вполне точного воспроизведения и измерения э. д. с., силы тока и сопротивления в абсолютных единицах и вместе с тем практически достаточную точность, получаемую при измерениях, опирающихся на вещественные воспроизведения электриче-

ских единиц. Сохранив в определениях международных единиц указания на их происхождение от единиц абсолютной электромагнитной системы, конгресс в этих же определениях указал, что теоретические значения вольта, ампера и ома с достаточной для научных и технических целей точностью воспроизводятся их эталонами, а именно: для вольта — $\frac{10^9}{1434}$ частями э. д. с. между полюсами

нормального элемента Латимера Кларка при температуре 15°C ; для ампера — током, отлагающим в одну секунду 0,001118 г серебра из водного раствора азотнокислого серебра и для ома — столбиком ртути одинакового сечения, имеющим при 0°C длину 106,3 см и массу в 14,4521 г (вместо нормированного ранее поперечного сечения трубки 1 mm^2 в определение была введена масса ртути, ввиду неопределенности значения плотности ртути в связи с недостаточно точным определением отношения метра к килограмму). Для изготовления эталонов (нормальный элемент, серебряный вольтметр, ртутный образец ома) были разработаны особые спецификации.

Лондонская конференция 1908 г., на которой представителем России был проф. Н. Г. Егоров, заменивший в 1907 г. Д. И. Менделеева на посту управляющего Главной палатой мер и весов, провела еще более строгое различие между абсолютными и международными единицами, дав независимые определения тех и других, уточнила длину столбика ртути для эталона ома (106,300 см) и количество серебра, отлагаемого током в 1 международный ампер (0,00111800 г), предложила в качестве эталона вольта нормальный элемент Вестона и разработала новые спецификации для всех эталонов. Вместе с тем конференция постановила, что основными электрическими единицами являются абсолютные практические единицы и что международные единицы рекомендуются лишь как такие единицы, с помощью которых основные единицы воспроизводятся для электрических измерений и законодательных целей. Конференцией был принят в качестве второй основной единицы ампер вместо вольта, несмотря на возражения, заключавшиеся в том, что вольтметр не представляет конкретного эталона, действует только во время прохождения через него тока, не отличается портативностью и пр. Основными причинами предпочтения, оказанного амперу перед вольтмом, являлась возможность непосредственного выражения ампера в абсолютной мере с помощью ампервесов или электродинамометра, а также значительная простота и удобство вольтметра по сравнению с нормальным элементом с его сложным химическим составом.

Тщательно разработанная система практических международных единиц, вызывая нежелательную двойственность электрических единиц измерения, не вполне удовлетворяла, однако, даже вызвавшим ее практическим потребностям. Изготовленные в разных странах, по одним и тем же спецификациям, эталоны электрических единиц обнаруживали все же расхождения в их численных значениях и благодаря этому единообразие электрических единиц и мер в полной мере не достигалось. В связи с этим в 1935 г. Консультативный комитет по электричеству при Международном комитете мер и весов установил в качестве между-

народных эталонов ома и вольты средние арифметические из значений национальных эталонов ряда государств. В том же году Международное бюро мер и весов, учитывая в частности, что развитие техники изготовления и измерения дает уже возможность воспроизводить абсолютные ом, вольт и ампер с меньшей точностью, чем международный ом, вольт и ампер, признало своевременным и рациональным переход от международных электрических единиц к абсолютным и сроком перехода назначило 1 января 1940 г.

С принципиальной точки зрения в истории электрических единиц заслуживает особенного внимания процесс преодоления противоречий и устранения расхождений между теоретическими основами системы единиц и ее воплощением в определенные материальные формы.

Абсолютная практическая система единиц, теоретически достаточно совершенная, должна была вследствие недостаточного развития техники изготовления и измерения уступить место международной практической системе (Чикагский конгресс).

На Лондонской конференции добавление двух нулей в значения международных ома и ампера, подчеркивая, с одной стороны, возросшую точность изготовления и измерения (0,001%), ставило вместе с тем пределы приближения эталонов к абсолютному ому и амперу и устанавливало независимость их как от теоретических значений ома и ампера, так и от дальнейших успехов техники, превращая тем самым международные ом и ампер в условные единицы, установленные по международному соглашению. Однако успехи техники достигли в дальнейшем столь высокого уровня, что открылась возможность вернуться к абсолютной практической системе, в которой теоретические значения единиц и значения их вещественных эталонов численно совпадают, т. е. к системе, которая как бы «обогащена» по своему содержанию вследствие того, что объединяет в себе теоретические единицы и их эталоны на базе тождества их численных значений (синтез абсолютной и международной систем единиц).

Своеобразными особенностями, отражающими различные и порой противоречащие друг другу требования, характеризуется также выбор основных единиц. Вместо представляющегося наиболее естественным выбора единиц физически первичных величин — э. д. с. и сопротивления — в качестве таковых были первоначально предложены единицы э. д. с. и силы тока, как непосредственно выводимые из системы единиц Гаусса (Вебер). Однако в связи со стремлением создать конкретные вещественные образцы они уступили место единицам э. д. с. и сопротивления (Комиссия по электрическому эталонам); здесь нашли сочетание принципы физического примата и метрологической целесообразности. В дальнейшем соображения технологического и метрологического порядка побудили перейти уже к ому и амперу, как основным единицам (Лондонская конференция 1908 г.). В настоящее время высокий уровень техники дает возможность снова установить в качестве основных единиц ом и вольт.

Принципиально правильный выбор двух единиц в качестве основных оказался в противоречии с

вызванным потребностями практики создания эталонов для трех единиц (в то время как одна из них представляет согласно закона Ома функции двух других). Противоречие, обусловленное существованием трех технологически независимых друг от друга эталонов единиц физически зависимых величин, разрешалось различно: логически — определением понятия «вольт» через понятия «ом» и «ампер»; метрологически — экспериментальным определением значения эталона э. д. с. с помощью эталонов сопротивления и силы тока; исторически — непрерывным ростом техники изготовления и измерения, все время понижавшим степень расхождения между теоретическим значением единиц и фактическими значениями их эталонов.

Работа по созданию электрических эталонов в России стала возможной благодаря плодотворной деятельности Д. И. Менделеева и в частности благодаря хорошему оборудованию вышеупомянутой электроизмерительной лаборатории, которая начала функционировать с 1 февраля 1900 г. В это время лаборатория уже имела в своем распоряжении ряд высокоточных приборов, выписанных из-за границы, а именно: несколько нормальных элементов Латимера Кларка, прецизионные электрические весы Кельвина, комплект нормальных сопротивлений от 0,0001 до 10 000 Ω , компенсатор Фейснера ипр. В 1901 г. в самой лаборатории было изготовлено несколько нормальных элементов Латимера Кларка и два нормальных элемента Вестона, а в 1910 г. — три серебряных вольтметра; в том же (1910) году Главной палатой были получены изготовленные Национальной физической лабораторией в Лондоне (при участии сотрудников Главной палаты) 31 нормальный элемент Вестона, и в 1912 г. из них и из элементов, изготовленных в Палате, были отобраны 26 элементов в качестве эталонных.

После Лондонской конференции различные государства принялись за работу по созданию ртутных эталонов ома, и в этом отношении Россия была одной из первых. В период 1910—1913 гг. Главной палатой мер и весов был создан эталон международного ома. Русским метрологам А. Н. Георгиевскому и М. Ф. Маликову пришлось здесь работать совершенно самостоятельно, и выполненная работа представляла в то время крупнейший метрологический шедевр.

В Париже были заказаны шесть стеклянных капиллярных трубок длиной 120 см, которые там же были тщательно выпрямлены, после чего на них были нанесены 1100 миллиметровых делений (на правой и левой сторонах каждой трубки). В дальнейшем необходимо было установить степень кривизны трубки, поскольку даже совершенно незаметная для глаз кривизна отражалась на длине трубки и сопротивлении ртутного столбика. Это представляло задачу, перед экспериментальными трудностями которой остановился даже выдающийся метролог Национальной физической лаборатории в Лондоне Смит, ограничившийся теоретическими вычислениями. Русские метрологи разрешили эту задачу следующим образом: так как главным препятствием для изучения формы ртутного столбика с помощью микроскопа являлось преломляющее действие цилиндрических стенок трубки, то была подобрана прозрачная жидкость, а именно

нитробензол, с тем же коэффициентом преломления, как у стенок трубки. При погружении трубки с ртутью в нитробензол преломляющее действие стенок трубки равнялось нулю. При освещении ртутного столбика электрической лампой у края его была видна в микроскоп тонкая светлая линия, на которую наводились нити микроскопа. Трубка, находившаяся в нитробензольной ванне, на подвижной платформе делительной машины, перемещалась параллельно своей оси, причем с помощью микроскопа находились проекции краевых линий столбика (на различной высоте его) и строились соответственные кривые, дававшие возможность определить искомую кривизну. В результате испытаний готовых эталонов оказалось, что средняя разность между наблюдаемым и вычисленным сопротивлением не превышает $+1,6 \cdot 10^{-5}$ и $-1,6 \cdot 10^{-5}$, а среднее значение сопротивления (группового эталона из шести трубок) как по наблюдению, так и по вычислению составляет 0,999977 международного ома.

Тщательное хранение созданных эталонов дало возможность добиться их безукоризненного состояния в течение последующих лет.

С 1923 г. началась систематическая подготовка к созданию второго группового эталона международного вольта. За 6 лет в Главной палате были изготовлены и изучены 450 нормальных элементов Вестона и составлен новый эталон из 25 элементов. В 1924 г. проф. М. Ф. Маликовым была предложена новая форма элементов Вестона, особенностью которой являлось расположение катодной ветви внутри анодной. Преимущества этой формы заключались в ее портативности и уменьшении числа спаянных мест у стеклянной оболочки, приводивших иногда к образованию незаметных на глаз трещин, способствовавших проникновению масла из ванны внутрь элементов и их высыханию.

Работа по эталонированию в Главной палате мер и весов не ограничивалась созданием материальных образцов основных электрических единиц. В 1926 г. проф. М. А. Шателеном и П. М.

Тиходеевым был создан основной световой эталон, составленный из 24 пустотных электрических ламп и воспроизводящий значения международной свечи и люкса (единицы освещенности), а в 1928 г. — световой эталон люмена (единицы светового потока). В 1938 г. были в основном завершены работы по созданию эталона магнитного потока и единицы напряженности магнитного поля (в форме катушки Гельмгольца с помещенной в ней вторичной катушкой) и группового эталона магнитного момента (группа магнитов в форме эллипсоидов вращения).

Перед войной в системе Комитета го¹ делам мер и измерительных приборов при СНК СССР, созданного в 1939 г. на базе прежней Главной палаты мер и весов, наряду с непрерывной работой по хранению и поддержанию эталонов проводилась также интенсивная работа по созданию новых эталонов и по переходу на эталоны абсолютных электрических единиц. Несмотря на тяжелые условия, созданные затем войной и эвакуацией, сотрудники Ленинградского (Всесоюзного) института (так же как и сотрудники Московского института) Комитета по делам мер и измерительных приборов при СНК СССР сумели сохранить ценнейшее оборудование и эталоны. Еще до войны выполнялись работы по созданию эталона абсолютного генри (катушка, индуктивность которой точно определена расчетным порядком по ее геометрическим размерам) и эталона абсолютного ампера (ампервесы).

Сохранение эталонов дало возможность соблюсти единство мер и поддержать на высоком уровне точность измерений во всей стране. В связи с этим в настоящее время значительно облегчается задача восстановления и реконструкции материальной базы народного хозяйства путем расширения применения электричества для измерения самых различных физических величин, а также путем всемерного внедрения автоматических контрольно-измерительных и регулирующих приборов, в которых доминирующая роль принадлежит, как известно, электротехнике—прежде всего в форме датчиков и измерительных органов этих приборов.



Центральный зал станции „Электровзаводская“ Покровского радиуса московского метрополитена им. Кагановича.

Десять лет работы московского метрополитена

Директор—полковник тяги А. И. ЕЖОВ

Главный инженер московского метрополитена им. Кагановича

Десять лет назад, 15 мая 1935 г., вступила в эксплуатацию первая линия московского метрополитена длиной 11,4 км с тринадцатью станциями.

На смену строителям, создавшим лучший в мире метрополитен, пришли работники эксплуатации, перед которыми стояла задача в кратчайший срок освоить новую, передовую и совершенную технику этого величественного сооружения, обеспечить отличное содержание станций-дворцов, образцовую эксплуатацию, культурное обслуживание пассажиров.

Коллектив работников метрополитена быстро овладел техникой эксплуатации. Вначале эксплуатационная скорость поезда составляла 22,4 км/ч, но через короткое время она повысилась до 29,5 км/ч, а в настоящее время составляет уже 34,6 км/ч. Секундная точность движения с самого начала явилась особенностью московского метрополитена. В первое время пропускалось 12 пар четырехвагонных поездов в час, а к концу первого года эксплуатации был введен 15-парный график и шестивагонные составы.

За 10 лет трасса московского метрополитена увеличилась более чем в три раза и к настоящему времени достигает 36,7 км. Количество станций с 13 увеличилось до 29. За это время вступили в эксплуатацию Горьковский и Покровский радиусы II очереди строительства и в дни войны построены и пущены в эксплуатацию Замоскворецкий и Покровский радиусы линий III очереди.

Метрополитен, как наиболее культурный, быстрый и безопасный вид транспорта, прочно вошел в жизнь и быт нашей столицы. Об этом

свидетельствует неуклонный рост пассажироперевозок на метрополитене. В 1935 г. московский метрополитен перевозил 177 тыс., в 1940 г. 1 030 тыс., а в настоящее время более 1 700 тыс. пассажиров в сутки. Если удельный вес метрополитена в общих пассажироперевозках всего транспорта г. Москвы в 1935 г. составлял лишь 2%, то, повышаясь из года в год, он достиг в настоящее время 30%.

Коллектив метрополитена, принимая в эксплуатацию от славных строителей лучший в мире метрополитен, обязался обеспечить образцовую работу прекрасного сооружения сталинской эпохи. В основу работы московского метрополитена было положено выполнение железного закона транспорта — графика движения поездов и обеспечения безопасности движения. Из общего количества поездов, пропущенных по трассе метрополитена, в 1935 г. проследовало точно по графику 99,3%, в 1940 г. — 99,8%, а в настоящее время — 99,9%.

За период работы метрополитена достигнуты такие эксплуатационные показатели, которых не знают метрополитены капиталистических стран, имеющие опыт многих десятков лет работы. За 10 лет по линиям московского метрополитена прошло около 5 млн. поездов и перевезено около 3 млрд. пассажиров. За это время суточные перевозки выросли в десять раз.

За 10 лет длина туннелей выросла почти в четыре раза, достигнув 70 км, длина пути в три с половиной раза, увеличившись с 31 км до 103 км, количество эскалаторов возросло в четыре с лишним раза. Достаточно сказать, что общая длина

полотна их достигает в настоящее время 9 км, количество станций увеличилось более чем вдвое, инвентарный парк подвижного состава метрополитена — в четыре раза, количество сигналов автоблокировки — в три раза, аппаратов связи — в семь раз, кабельная сеть — в три раза, достигнув в настоящее время 1 500 км. Общая мощность силовых трансформаторов возросла в 4,5 раза.

Все оборудование метрополитена, изготовленное исключительно на заводах нашей страны, показало вполне удовлетворительную работу. Лучшим показателем высокой технической оснащенности московского метрополитена и высокого качества оборудования является результат десятилетней его эксплуатации.

За 10 лет на наиболее напряженном участке Сокольники — Охотный ряд по рельсам проследовало около 27 млн. осей и перевезено более 335 млн. т груза. Это значит, что каждый рельсовый стык на этом участке выдержал до 27 млн. ударов и вибраций. Каждый сигнал автоблокировки на этом участке срабатывал более 2 млн. раз, а стрелки, уложенные в 1935 г., переводились из одного положения в другое более 2,5 млн. раз, и, несмотря на такую интенсивную работу, все устройства метрополитена находятся в хорошем состоянии, обеспечивая безопасность и бесперебойность движения поездов. Первые вагоны метрополитена, пущенные в начале эксплуатации, за 10 лет совершили пробег более 1 300 тыс. км.

Метрополитен работал за этот период с исключительной четкостью и доказал, что это не только наиболее культурный и удобный, но и наиболее безопасный вид транспорта.

Коллектив эксплуатационников в течение 10 лет непрестанно работал над совершенствованием сооружений, над улучшением подвижного состава, тяговых подстанций и всего сложного оснащения метрополитена. Многочисленные и разнообразные электромеханические установки и устройства подвергались длительному практическому испытанию.

Лунинский уход поездных бригад за оборудованием обеспечил повышение качества ремонта и позволил увеличить пробег вагонов между текущими и периодическими осмотрами в десять раз, а между средними ремонтами — почти в три раза. Для повышения надежности работы подвижного состава введен дополнительный подъемный ремонт. Для уменьшения тормозных путей и увеличения безопасности движения и надежности работы тормоза на всех вагонах переделана тормозная рычажная передача. Большинство вагонов первого выпуска оборудовано новыми, с повышенной прочностью тележками более совершенной конструкции, обеспечивающими мягкий и менее шумный ход вагонов. Путем переделки пусковых сопротивлений значительно повышена плавность пуска поездов при трогании, что создало больше удобства пассажирам и улучшило условия работы оборудования подвижного состава, а также дало ежегодную экономию электроэнергии около 380 тыс. кВт·ч. Улучшена автосцепка, внесены изменения в электрическую схему и электрооборудование подвижного состава, которые значительно повысили надежность работы оборудования.

В течение нескольких лет метрополитен добивался прибора, при помощи которого возможно

было бы получить одинаковый тормозной путь, вне зависимости от нагрузки вагона. Такой прибор — «авторежим» — получен в прошлом году, и им в настоящее время оборудуются все вагоны метрополитена. С его применением тормозной путь при большой нагрузке вагонов сокращается на 25—30%, что имеет большое значение для безопасности движения. Одновременно с этим получается большая экономия электроэнергии.

Метрополитен получил новые улучшенные вагоны, которые предусматривают еще больше удобств для пассажиров и имеют более высокие технические показатели. Максимальная скорость на перегоне для новых вагонов увеличена до 75 км/ч, повышено ускорение и замедление; вагоны имеют улучшенную вентиляцию; вес вагонов значительно снижен, на всех моторных вагонах предусматривается электрическое торможение.

Эскалаторы метрополитена, проработавшие в общей сложности за 10 лет 4,5 млн. км, подвергались ряду конструктивных улучшений в процессе их эксплуатации. Проведенные мероприятия повысили бесперебойность и надежность работы эскалаторов. Случаи остановок эскалаторов по техническим причинам и по вине обслуживающего персонала значительно сокращены и сведены к минимуму. Скорость движения эскалаторных лент повышена до 0,75 м/сек, что увеличило пропускную способность эскалаторов на 30%.

По энергохозяйству проведен также ряд реконструктивных мероприятий, давших дополнительные гарантии бесперебойного энергоснабжения. К ним относятся новые виды защиты сетей постоянного тока, автоматическое регулирование температуры ртутных выпрямителей, изменение схем вольтметровой блокировки на понизительных подстанциях и ряд других.

В процессе эксплуатации ртутных выпрямителей типа РВ-20 были реконструированы аноды и вакуумная система. Реконструкция выпрямителей повысила их нагрузочную способность и дала возможность довести пиковую нагрузку до 150% номинальной.

Проделана огромная работа по резервированию питания понизительных подстанций, по реконструкции масляных выключателей и бронеустройств и целый ряд других улучшений.

Большие работы проведены по автоматизации тяговых и понизительных подстанций и эскалаторных станций. Три тяговых подстанции переведены на телеуправление с диспетчерского пункта и работают без обслуживающего персонала.

За 10 лет по автоблокировке внесен ряд улучшений, повышающих устойчивость ее работы и безопасность движения поездов по существующим линиям метрополитена. Проведена проверка всех основных зависимостей и замыкания централизации и автоблокировки на всех блоках; проведено переоборудование централизации нескольких станций. На участке 4,5 км переделана автоблокировка по оригинальной схеме, предложенной инженерами метрополитена, повышающей безопасность движения и высвободившей большое количество оборудования.

Рельсовые пути метрополитена за этот период технически улучшены: внедрена электроконтактная сварка стыков; разработаны новые накладки изоли-

рованных стыков; изменена конструкция креплений. Для ускорения осмотра путей метрополитен располагает специальной подвижной дефектоскопной станцией и путеизмерительным вагоном, изготовленным силами метрополитена.

Огромная работа проделана по борьбе с проникновением грунтовых вод в туннели метрополитена. За 10 лет было ликвидировано несколько десятков тысяч течей.

Наконец, благодаря проведению ряда технических мероприятий и четкой работе всего коллектива метрополитен добился больших результатов в деле экономии электроэнергии. Удельный расход электроэнергии на одного пассажира снизился почти в три раза. За 10 лет метрополитеном сэкономлено электроэнергии, которой бы хватило для пропуска свыше 400 тыс. поездов.

На московском метрополитене проводилась и постоянно ведется большая исследовательская работа при участии Академии наук СССР, Академии архитектуры, научно-исследовательских институтов и других научных учреждений всей страны, позволившая правильно поставить эксплуатацию оборудования и правильно наметить технические мероприятия.

Найдено много ценных и эффективных методов реставрации мрамора и ухода за ним, способов борьбы с фильтрацией воды в туннелях путем нагнетания горячего битума, цементных растворов и паст. Производятся исследования по очистке щелочной, уложенной в туннелях, по устранению электрической и химической коррозии, по влиянию сильных токов на линии связи, по вибрации туннелей.

Метрополитен имеет свою научную лабораторию по определению состава воздуха в туннелях. Регулярно проверяется содержание пыли, влаги, углекислоты. На основе этих исследований принимаются меры к очистке воздуха.

На трассе метрополитена впервые в Союзе были произведены в широком масштабе динамические испытания вагонных тележек с применением большого количества измерительной аппаратуры. Испытания дали исключительный по своей ценности исследовательский материал не только для метрополитена, но и для всего вагоностроения Союза в целом.

Были произведены ряд тормозных испытаний: тормозных колодок, нового электропневматического тормозного воздухораспределителя; проведено определение коэффициента сцепления и т. д. Были проведены большие исследовательские работы по ртутным выпрямителям типа РВ-40, быстродействующим автоматам всех типов, проводятся испытания нового более совершенного типа одноанодного ртутного выпрямителя. Были проведены

большие испытания нового типа индуктивного автостопа, результаты которых дали также весьма ценный материал.

Большая исследовательская работа проведена по определению режима ведения поезда, благодаря чему метрополитен добился большой экономии электроэнергии на тягу. Удельная норма расхода с 67 Wh/tkm в 1935 г. сокращена до 45 Wh/tkm в 1945 г.

В суровые дни Отечественной войны работа метрополитена приобрела еще большее значение чем в мирное время. Метрополитен помимо основного вида транспорта являлся надежным укрытием для населения Москвы от вражеских налетов. В короткий срок станции и туннели были приспособлены для укрытия населения, были созданы все минимально необходимые удобства для длительного нахождения людей.

Высокая техническая оснащенность метрополитена и необходимость четкой работы требуют квалифицированных, хорошо подготовленных и проверенных кадров. Все ведущие категории работников метрополитена: машинисты, их помощники, дежурные тяговых подстанций, электромеханики СЦБ, дежурные блокпостов и станций, механики эскалаторов подготавливаются на специальных курсах, с длительным сроком обучения. На метрополитене работает около 300 инженеров и 400 техников; многие пришедшие на метрополитен рядовыми инженерами за десятилетний период стали хорошими специалистами и организаторами и в настоящее время занимают ответственные должности.

На метрополитене большое количество женщин, которые наравне с мужчинами работают машинистами, электромеханиками, диспетчерами и на других должностях.

За период десятилетней эксплуатации накоплен богатый организационно-технический опыт, который должен быть использован при сооружении новых очередей метрополитена.

По решению правительства началось строительство четвертой очереди московского метрополитена—большого кольца длиной 20 км с 12 станциями. Новая линия опоясывает центральные районы города, она строится среди густо заселенных кварталов. Кольцевая линия свяжет между собой важнейшие городские центры и главные вокзалы, обслужит парки, стадионы.

Решение правительства о сооружении новой линии метрополитена явилось ярким выражением растущих сил нашего социалистического государства, заботы партии и лично товарища Сталина о нуждах населения столицы. Новая линия явится очередным крупным вкладом в реконструкцию Москвы по великому сталинскому плану.

Теоретические вопросы современного электромашиностроения

Инж. Е. Я. КАЗОВСКИЙ

Ленинградский завод „Электросила“ им. Кирова

На основе большого проектного и расчетно-конструкторского опыта современного крупного электромашиностроения, а также обзора литературы последних лет, в статье охарактеризованы некоторые актуальные теоретические вопросы в области электрических машин. Постановка этих вопросов в порядке обсуждения может содействовать правильному развитию научно-исследовательских работ в указанной области.

Передовое электромашиностроение не мыслимо без напряженной научно-исследовательской работы в области теоретических проблем, связанных с теми сложными физическими явлениями, которые происходят в электрической машине.

Опыт показывает, что изучение физических явлений, лежащих в основе работы электрической машины, может дать большой технический и экономический эффект, оказывая непосредственное влияние на к. п. д., себестоимость, способность к перегрузке и надежность работы машины.

Именно поэтому все крупнейшие электротехнические фирмы мира имеют в своем распоряжении не только выдающихся инженеров, но и выдающихся специалистов физиков, химиков и специалистов по прикладной математике. Характерно, что англичане, например, затратили во время войны 10 000 фунтов стерлингов на такой сравнительно узкий вопрос, как систематизация данных об электрической изоляции.

Сложность современных электрических схем, применение новых принципов регулирования и автоматизации, взаимное проникновение техники сильных и слабых токов для получения наиболее совершенных аппаратов и схем требуют исключительно широкой подготовки ведущего проектировщика электрической машины. Неслучайно, например, электромашиностроение является, пожалуй, первой отраслью техники, использующей в новейших теоретических работах в широком масштабе тензорный анализ, матричное исчисление, мало распространенные специальные функции.

За время войны электромашиностроение сделало за рубежом, преимущественно в США, большой шаг вперед. Помимо создания ряда новых машин, новых конструкций, новых схем резко увеличилось также количество выпускаемых машин.

Достаточно сказать, что фирма Westinghouse за время войны увеличила количество своих работников более чем в два с половиной раза и довела свой штат до 106 000 чел.; фирма General Electric Co имеет штат, приближающийся к 200 000 чел.

Важно отметить, что в США производство электрических машин и аппаратов было одной из наиболее бурно развивающихся отраслей промышленности. Если, например, общий годовой прирост производства США в 1943 г. составлял 20%, а прирост производства для военных целей 25%, то прирост производства электрических машин и аппаратов в том же году достиг 50%. Помимо количественного роста мы наблюдали за последние годы

в США значительный качественный рост в электромашиностроении. В широких масштабах производится внедрение новых пластмасс (хлор-каучуки, полихлорвинилы, полистирены), применяются новые сорта стали, в частности, ленточной; широко развится фабричный выпуск компактных энергетических узлов с металлическим распредустройством; быстро развивается автоматический электропривод с широким применением электронных ламп и электромеханических усилителей — амплидинов.

Все более широкое применение получает водородное охлаждение, выпущены новые сложные агрегаты, в том числе крупнейшие машины для асинхронно-синхронных каскадов, предназначенных для современных аэродинамических труб. Характерным является также широкое применение высокочастотной техники для телеизмерений, телеуправления, защиты и автоматики.

Широко используются в электропромышленности США изобретения и рационализация. Так, например, только одна фирма GEC за 1943 г. реализовала 23 841 рацпредложение.

Все это заставляет нас поставить вопрос о дальнейшем повышении уровня наших знаний в области, связанных с современным электромашиностроением.

Недостаточно строить хорошие машины; для того чтобы избежать отставания, нужно вести большую научно-исследовательскую работу, нужно удерживать передовое место в изучении теоретических вопросов электромашиностроения. Электрические машины представляют собой с точки зрения физики исключительно сложный комплекс явлений. Для проектирования электрической машины необходимо быть не только электриком, но и хорошим механиком. Кроме механики и электротехники необходимо также владеть законами аэродинамики, гидродинамики, расчетом тепловых процессов.

Ниже мы останавливаемся вкратце на некоторых вопросах в каждой из этих областей.

В качестве приложения мы приводим библиографию за последние два года. Предлагаемая библиография не может претендовать на полноту, однако дает примерную картину периодической литературы, опубликованной по затронутым вопросам в 1943—1944 гг.

* * *

Электромагнитные вопросы можно разбить на три раздела — методика расчета и проектирования электрических машин, вопросы расчета специальных режимов и вопросы электрической изоляции.

При рассмотрении методики проектирования следует подчеркнуть, что инженер прежде всего должен быть хорошим экономистом с широким кругозором. Стоимость энергетического узла обычно во много раз превышает стоимость электрической машины. Рациональная конструкция, учитывающая экономику всего энергетического узла, дает больший народнохозяйственный эффект, чем зачастую все работы в области правильного расположения станков и наиболее дешевой обработки при изготовлении машины.

Методика расчета и проектирования электрических машин. Коэффициент полезного действия и надежность машины. Рационально спроектированная машина должна работать с к. п. д. несколько ниже максимального с тем, чтобы небольшое снижение к. п. д. экономически оправдывалось значительным увеличением мощности данной машины. Стоимость годовой экономии энергии при изменении к. п. д. определяет цифру целесообразной стоимости изготовления единицы мощности и определяет наиболее экономически выгодную мощность машины.

Такому рациональному проектированию нередко препятствуют низкие термические качества электрической изоляции, ограничивающие допустимый перегрев, при заданном уровне статической и динамической перегружаемости машины (рис. 1).

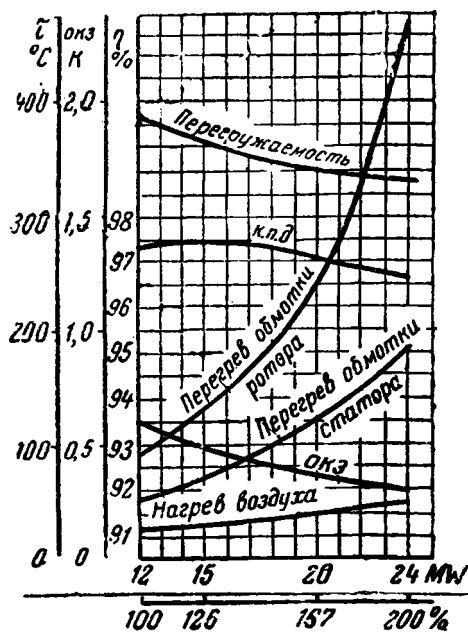


Рис. 1. Изменение показателей (по расчету) турбогенераторов Т-2-12-2 при увеличении нагрузки.

Важным обстоятельством, подлежащим учету при выборе к. п. д. и рабочей мощности машины с точки зрения рационального соотношения между первоначальной и эксплуатационной стоимостью единицы мощности, является необходимость резерва мощности в электрической установке для обеспечения бесперебойной работы. В этом случае к. п. д. данной машины следует выбирать с учетом работы машины некоторое время в году в режиме повышенной мощности. В результате точка нормальной работы машины должна быть приближена

к максимуму к. п. д., а точка работы с повышенной мощностью должна находиться в рациональных пределах за экономическим выгодным к. п. д.

Также важен с экономической точки зрения вопрос о надежности машины. Есть такие производства (например, специальные электролизные заводы), где выход машины из строя на короткое время нарушает работу крупного завода на несколько месяцев. Это не всегда учитывается при выборе уровня надежности и, в частности, перегружаемости машины.

Необходима регулярная систематизация статистических данных, связанных с надежностью и экономичностью машины, необходимо своевременно устранять узкие места, препятствующие наиболее рациональному проектированию и экономическому использованию электрических машин.

Рассмотрим некоторые особенности методики современного проектирования отдельных типов машин.

Турбогенераторы. Узким местом в турбогенераторостроении являются сегодня большие потери на трение о воздух, достигающие 40% от общих потерь; поэтому большим успехом пользуется переход на водородное охлаждение, позволяющий уменьшить вентиляционные потери примерно в десять раз. В результате перехода на водород получается возможность пересмотреть геометрию машины и в первую очередь увеличить диаметр ротора. В настоящее время в большинстве случаев, как видно из рис. 1, мощность турбогенератора с воздушным охлаждением лимитируется не к. п. д., а его перегревом. При переходе на водородное охлаждение можно проектировать машину не по перегреву, а по к. п. д.

В отдельных случаях вопрос о диаметре ротора турбогенератора должен определяться помимо соображений, связанных с вентиляционными потерями, стоимостью необходимой поковки. Современная металлургия может обеспечить поковки диаметром до 1 200 мм для весьма крупных двухполюсных машин мощностью значительно выше 100 MW, однако стоимость поковки, достигающая 15% стоимости машины, сильно зависит от предъявляемых к ней требований по общему весу и качеству стали.

Переход на водородное охлаждение позволяет пересмотреть ряд соотношений, установившихся при проектировании турбогенераторов с воздушным охлаждением. Так, например, вследствие улучшения поперечной проводимости активного железа становится возможным выбор более широких пакетов активного железа статора. Уменьшение опасности загрязнения каналов и меньшие вентиляционные потери позволяют пересмотреть вопрос о рациональной ширине вентиляционных каналов; целесообразен пересмотр числа пазов статора в сторону уменьшения. Уменьшение числа пазов дает большее удешевление стоимости машины, однако связано с увеличением добавочных потерь, повышением перегревов и другими обстоятельствами, требующими специального анализа. Фирма Westinghouse, например, выпускает двухполюсные турбогенераторы с водородным охлаждением мощностью 50 MW с 36 пазами в статоре, в то время как двухполюсный турбогенератор завода «Электросила» на 50 MW с воздушным охлаждением имеет 72 паза в статоре.

Гидрогенераторы. При проектировании гидрогенераторов нужно иметь в виду следующие условия, определяющие габариты машины. Во-первых, механические напряжения, которые возникают в роторе. Это условие вызвано тем обстоятельством, что ротор машины должен выдерживать угонную скорость, превышающую номинальную в два-три раза. Другим условием является требование определенного допустимого повышения скорости вращения и допустимого повышения давления в напорном трубопроводе при сбросе нагрузки.

Практика иностранных фирм показывает, что удорожание машины для получения заданного махового момента часто экономически не оправдывается, и поэтому допустим определенный разброс в моментах инерции с тем, чтобы момент инерции не был решающим фактором при выборе диаметра.

Центральным вопросом при проектировании гидрогенераторов остается вопрос о к. п. д. и перегружаемости (способности к перегрузке). У нас часто гидрогенератор проектируется по его перегреву. Это объясняется тем, что наши электромашиностроительные заводы не уделяли достаточного внимания строго научному проектированию вентиляции. В США электромагнитные нагрузки гидрогенератора, как правило, выбираются с учетом к. п. д.

Способность к перегрузке гидрогенератора, коммутационные и динамические перенапряжения машины существенно связаны с наличием или отсутствием демпферной системы в роторе машины и, в частности, продольно-поперечной демпферной системы, однако выполнение такой демпферной системы приводит к довольно значительному удорожанию машины.

Некоторые сравнительные данные выполненных гидрогенераторов приводятся на рис. 2.

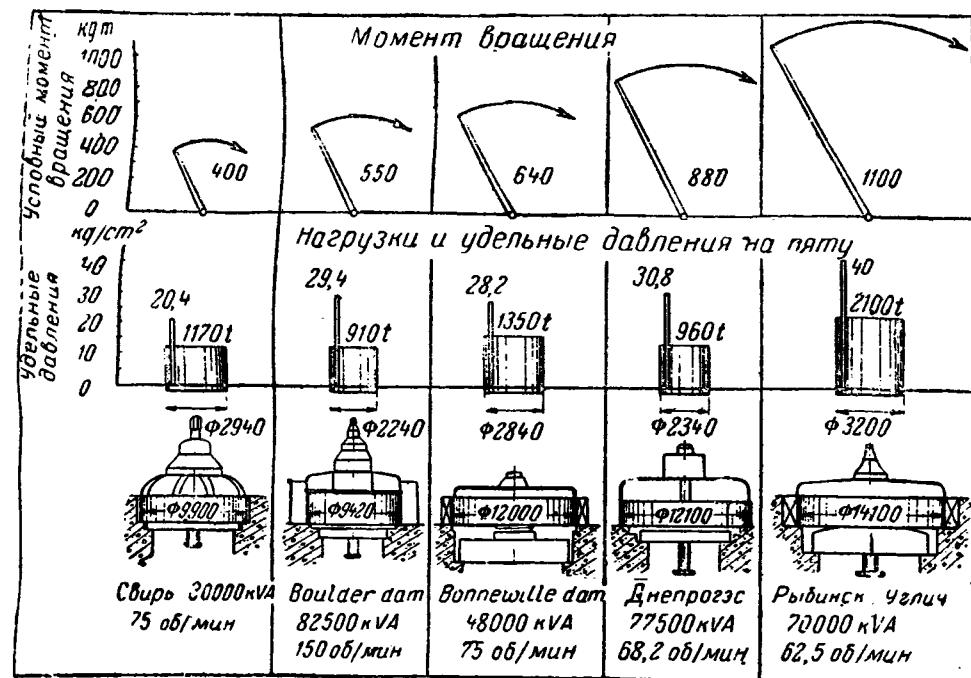


Рис. 2. Габаритные размеры, нагрузки, удельные давления на пятю и моменты вращения выполненных гидрогенераторов.

Машины постоянного тока. Эти машины, как известно, имеют свои особенности в проектировании вследствие наличия коллектора. В машине по-

стоянного тока коллектор позволяет иметь среднее напряжение на виток не больше 18—20 V, в то время как в машине без коллектора это напряжение может достигать сотен вольт, что существенно влияет на все соотношения при проектировании машины. В крупной машине постоянного тока, как видно из рис. 3, мощность примерно пропорцио-

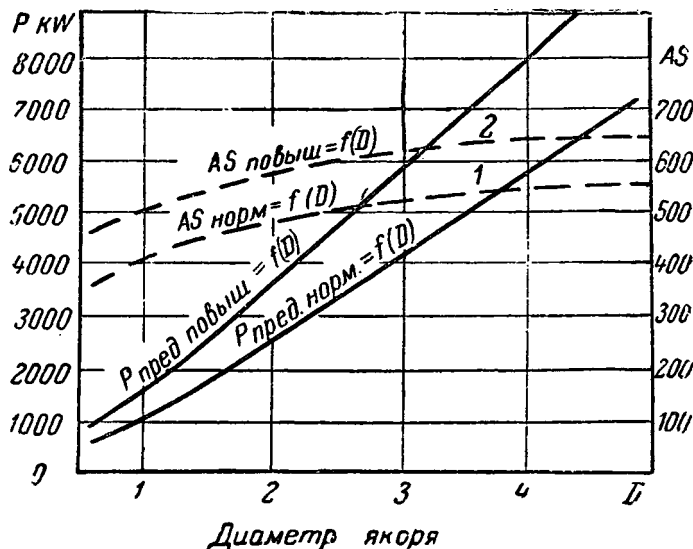


Рис. 3. Предельные мощности и линейные нагрузки (нормальные и повышенные) компенсированных машин постоянного тока.

нальна первой степени диаметра и практически не зависит от длины машины.

В машинах постоянного тока при проектировании важнейшим вопросом остается вопрос коммутации. Коммутация и допустимое напряжение между коллекторными пластинами определяют по существу специфическую экономику машины. Огромную роль для нормальной работы машины играет качество угольных щеток. К сожалению, качество отечественных щеток до сих пор оставляет желать лучшего.

Асинхронные машины.

Методика проектирования асинхронных машин находится на сравнительно высоком уровне. Важнейшим вопросом, требующим дальнейшего исследования, несмотря на большое количество работ в этой области, остается выбор числа пазов, оказывающий непосредственное влияние на добавочные потери, кривую пускового момента и шум машины. Такая специфика асинхронной машины связана в значительной степени с малым воздушным зазором в ней. В этом типе машины зазор определяется в основном

механическими соображениями и не определяет перегружаемости, как в синхронных машинах и в некоторой степени в машинах постоянного тока.

Перегружаемость асинхронной машины определяется в основном ее магнитным рассеянием, и синхронное реактивное сопротивление асинхронной машины, определяющее ее относительную «реакцию якоря», значительно больше, чем у синхронной машины. Практически синхронное реактивное сопротивление, равное обратной величине кратности тока холостого хода, определяется минимальным возможным углом по механическим соображениям и ориентировочным соотношением, соответствующим максимальному $\cos \varphi$ машины: $X \cdot X' = 1$, где X — синхронное реактивное сопротивление машины в относительных единицах, X' — реактивное сопротивление рассеяния в относительных единицах.

Асинхронная машина принадлежит к числу машин, электромагнитная нагрузка которых при рациональной вентиляции определяется не перегревом, а произведением к. п. д. на коэффициент мощности и перегружаемостью; поэтому применение в этих машинах дорогостоящих теплостойких изоляционных материалов не всегда экономически оправдывается.

Расчет сложных режимов. Помимо вопросов узкого определения размеров и типовых характеристик машины перед машиностроителем стоит задача отчетливого понимания и анализа ряда сложных режимов и схем, в которых работает электрическая машина. Наибольшее внимание уделяется обычно специальным режимам синхронных машин. Объясняется это, с одной стороны, наибольшим количеством запросов со стороны потребителей именно по режимам работы синхронных машин, с другой стороны, огромными народнохозяйственными потерями при выходе из строя, даже на короткое время, генератора на электрической станции, что при напряженном энергобалансе связано зачастую с остановкой заводов и фабрик.

Ниже мы останавливаемся на отдельных вопросах анализа сложных режимов по разным типам машин.

Моменты вращения синхронной машины. Если синхронная машина несет постоянную нагрузку, то магнитная ось ротора опережает или отстает от оси вращающегося поля статора на постоянный угол δ . При изменении нагрузки угол δ должен измениться. Появляется относительное движение вращающегося поля по отношению к обмоткам ротора, и в роторе индуцируются токи.

Влияние добавочных токов в роторе двояко. С одной стороны, они меняют зависимость синхронизирующего момента от угла, превращая ее из «статической» в «динамическую». С другой стороны, появляется добавочный демпферный момент, зависящий от скорости изменения рабочего угла δ и соответствующий добавочным потерям в роторе при изменении этого угла. Переход от одного значения угла к другому может сопровождаться качаниями, обычными для инерционной системы. Выделение потерь в роторе будет постепенно уменьшать амплитуду качаний (если нет постоянного раскачивающего момента, как, например, в машинах, работающих с компрессорами). При коротких замыканиях, внезапной нагрузке, понижении напряжения и т. п. могут наступить условия, при которых рабочий угол δ перестанет колебаться в ограниченных пределах, и машина выпадет из синхронизма.

Несмотря на исключительную важность для

практики проблемы моментов синхронной машины до сих пор не существует сколько-либо удовлетворительного аналитического решения этой задачи общем виде, вследствие того что рассмотрение приводит к системе сложных нелинейных дифференциальных уравнений. На практике до сих пор ограничиваются рассмотрением малых колебаний и пользуются приближенными графоаналитическими методами, например, методом последовательных интервалов, требующих много времени. Пользуются также интегралом, дающим решение данного численного случая, что существенно ограничивает область его применения.

За последние годы на заводе «Электросила» производилась работа по аналитическому рассмотрению больших качаний синхронной машины. При этом была использована формула Неймана для разложения функций вида $\sin(\sin \varphi)$ по функциям Бесселя в уравнениях синхронной машины, полученных Парком в 1929—1933 гг.

Важным вопросом теории моментов синхронной машины является вопрос о влиянии омического сопротивления статора на раскачивание синхронной машины при параллельной работе, наблюдаемое в ряде машин при малых нагрузках и относительно больших омических сопротивлениях в цепи статора, особенно при отсутствии демпферной обмотки на роторе.

На машинах Канакиргэс, не имеющих демпферной обмотки, например, при малой нагрузке при определенном возбуждении, соответствующем высокому $\cos \varphi$, машины вдруг скачком переходят в режим худшего $\cos \varphi$ с резким увеличением тока статора. Машины эти работают на сети в блоке с трансформатором; поэтому влияние омического сопротивления, включенного в обмотку статора, относительно велико. Переход на меньший $\cos \varphi$ есть не что иное, как переход в асинхронный режим.

Случаи неустойчивой работы наблюдались также у крупных компрессорных синхронных двигателей, причем раскачивание увеличивалось с увеличением тока возбуждения.

Вопрос о раскачивающем моменте в синхронной машине долгое время был одним из наименее разработанных разделов теории синхронной машины, причем и до сих пор некоторые вопросы в этой области требуют уточнения.

Влияние насыщения на моменты и устойчивость синхронной машины, несмотря на то что оно не так велико, как кажется на первый взгляд, также требует уточнения. Аналогично американцам мы учитываем насыщение постоянными коэффициентами. Последние опубликованные в этой области работы позволяют подойти к ряду вопросов, связанных с учетом насыщения, более близко.

С вращающимися моментами синхронной машины при параллельной работе связана большая область практически важных вопросов. Сюда относятся моменты при коротких замыканиях, выпадение из синхронизма, неправильная синхронизация, втягивание в синхронизм и др.

При внезапном коротком замыкании, например, при постоянной скорости вращения, механическая мощность расходуется главным образом на симметричную составляющую тока короткого замыкания. Так как омическое сопротивление статора обычно

весьма мало, то требуемая механическая мощность невелика, и генератор при коротком замыкании постепенно разгоняется.

Время протекания тока короткого замыкания весьма важно для оценки устойчивости машины при кратковременных коротких замыканиях, при повторном выключении выключателей, получающем в последнее время все большее развитие в энергетических системах. Время повторного включения выключателя может доходить до 0,5 сек, так как помимо времени, требующегося на отключение и включение выключателя (5—10 периодов), требуется время на деионизацию места короткого замыкания (4 ÷ 20 периодов) во избежание повторения перекрытия.

В последнее время применяют однополюсное отключение с повторным включением, что дает уменьшение разгона машины за время отключения выключателя. Вопрос о допустимости подобных режимов с точки зрения генератора требует детального исследования.

Необходимо учесть, что короткое замыкание, создавая небольшую средний момент, связано с огромными пульсирующими моментами, доходящими в начале переходного процесса до десятикратных, по отношению к номинальному. Поведение машины при таких моментах и токах требует изучения как с точки зрения возникающих механических напряжений, так и с точки зрения требуемой защиты. Пульсация момента оказывает существенное влияние на демпферный момент, чего не учитывает обычно принятая картина токов короткого замыкания синхронной машины.

Не менее важен вопрос о предельном скольжении, обеспечивающем втягивание в синхронизм. Втягивание в синхронизм в синхронной машине при наиболее неблагоприятном угле включения производится за счет разности демпферных моментов, меняющихся вследствие пульсирующего синхронизирующего момента, а следовательно, и скольжения при подаче возбуждения.

Представляет большой практический интерес рассмотрение выпадения из синхронизма и возможности самосинхронизации. При потере возбуждения под нагрузкой, например, генератор успевает за время гашения поля (порядка 2 сек) перейти в асинхронный режим. Имеющаяся нагрузка начинает тормозить машину; при этом начинает действовать регулятор первичного двигателя, увеличивающий подводимую мощность. В результате равновесие в асинхронном режиме устанавливается на повышенной мощности. Реактивный ток практически увеличится после перехода в асинхронный режим, доходя до номинального тока и выше. Увеличение тока приводит к снижению напряжения, и нередко связанное со снижением напряжения отключение нагрузки асинхронных двигателей может привести к качаниям напряжения с большой амплитудой. Предопределение поведения агрегата в подобном неустановившемся режиме является сложной электромеханической задачей.

Моменты при неправильной синхронизации и допустимые разницы углов и скоростей при синхронизации также требуют дальнейшего изучения. При неправильной синхронизации моменты могут достигать 15 ÷ 20-кратных по отношению к

номинальному. На одной из наших южных электростанций, например, несколько лет тому назад после неправильной синхронизации турбогенератора в 10 MW оказалось, что турбина вращается, а генератор стоит, так как болты муфты, соединяющей турбину с генератором, оказались срезанными.

Приближенные формулы для расчета токов и моментов при неправильной синхронизации известны. Требуется рассмотрение влияния возникающего наброса нагрузки на качания угла и некоторые другие уточнения.

Ударные генераторы и гашение поля. Расчет режимов ударных генераторов и гашения поля связан с некоторыми уточнениями в американской теории короткого замыкания синхронной машины.

В настоящее время выключатели строят с разрывной мощностью до 3 млн. кВт. Испытания таких выключателей требуют для получения мощностей короткого замыкания постройки специальных ударных синхронных генераторов. В СССР было изготовлено до войны несколько мощных ударных генераторов. Для того чтобы предопределить токи и напряжения в режимах, в которых будут работать машины, существующая американская теория синхронной машины оказалась недостаточной и ее пришлось несколько расширить. Основное уточнение заключается в отказе от приближений, связанных с большой величиной постоянной времени обмотки возбуждения по отношению к постоянной времени демпферной системы. К этой же области относятся наши работы по гашению поля.

Для получения наибольших разрывных мощностей в настоящее время используются несимметричные режимы, например, двухфазное замыкание на нуль. Методика расчета несимметричных режимов ударного генератора требует дальнейшей углубленной разработки.

Гашение поля синхронных машин подвергалось рассмотрению многими специалистами. Факторами, которые определяют скорость гашения, являются, с одной стороны, допустимая длительность тока заземления при аварии в машине, определяющая объем повреждения активного железа, с другой стороны, повышение напряжения на обмотке ротора при гашении поля.

Для правильного выбора гасительного сопротивления заводом «Электросила» и «Теплоэлектропроектом» получены формулы, учитывающие влияние демпферной системы. Недостаточно учитывается в разработанных формулах влияние сопротивления дуги автомата гашения поля. В этом направлении предстоит произвести уточнение формул.

Запуск машины со сплошным ротором и машин со стальной клеткой. На наших заводах обработан большой опытный материал, показавший хорошие пусковые характеристики отечественных турбогенераторов в качестве двигателей.

Расчет пусковых характеристик машин со сплошным ротором требует рассмотрения проникновения магнитных полей в сплошную железную среду сложной конфигурации. В этой области помощью общих уравнений Максвелла и конформных преобразований рядом специалистов получены интересные результаты, но в практике электромашиностроения они почти не используются вследствие сложности и громоздкости предложенных расчетных методов. Введением ряда опытных коэффициен-

тов, составлением таблиц и кривых, отражающих сложные математические выкладки, теоретические зависимости можно привести к практически удобному виду.

В последнее время наши электромашиностроительные заводы занялись также стальными пусковыми клетками. Можно показать, что для требуемых пусковых характеристик в рассматриваемых машинах практически единственным путем является применение металла с удельным электрическим сопротивлением во много раз большим, чем такое у меди. Сталь обладает подобным удельным сопротивлением, однако специфические магнитные свойства стали — переменная магнитная проницаемость и переменное вытеснение тока при пуске — вызывают значительные затруднения при проектировании стальных пусковых обмоток. Стальные клетки — вопрос не новый, им занимался еще Пунга, занимались и американцы. Обстоятельством, препятствующим широкому применению стальных клеток, является возрастание добавочных потерь, связанное с увеличением числа пазов в роторе и пока неустранимое.

Переходные режимы асинхронной машины. За последние годы интерес к переходным режимам асинхронной машины усилился по ряду причин, в частности: применение асинхронной машины в сложных схемах; применение асинхронной машины с последовательно приключенными конденсаторами для улучшения коэффициента мощности, развившееся за последние годы; развитие общей теории электрической машины вращающегося поля, позволившее сравнительно просто разрешить ряд задач по режимам асинхронной машины.

В 1938 г. Стенлей опубликовал в развитие уравнений Парка уравнения переходных режимов асинхронной машины. Благодаря существующей в асинхронных машинах магнитной симметрии нет необходимости в пользовании вращающимися координатами. Наиболее удобно в данном случае заменить трехфазную систему двухфазной. Килгор и Валь в 1940 г. опубликовали работу, где на основании расчета и опытных данных показывается, что при пуске асинхронный двигатель создает пульсирующие моменты, в несколько раз превосходящие средний пусковой момент. При определенных условиях для создания крутильных колебаний на валу вращающиеся моменты могут оказаться еще больше. Физически эти моменты вызваны появляющейся при включении асимметричной затухающей составляющей в токах и магнитном поле машины. Средний момент при этом меняется только за счет насыщения и эффекта затухания пульсирующих моментов.

Если учесть влияние скорости разворота ротора, то задача определения моментов получается значительно сложнее и требует еще своего решения. Влияние ускорения ротора в переходных режимах может быть связано с рядом мало исследованных явлений в асинхронной машине, в частности, с качаниями скорости при развороте. Эти качания могут сопровождаться даже переходом за синхронную скорость. Вместо нормальной статической характеристики асинхронный двигатель будет менять свой момент по динамической характеристике, состоящей в случае качаний из ряда петель. Переменные моменты, вызванные затухающими токами, создают изменение скольжения и в результате при-

водят к изменению среднего момента примера аналогично изменению моментов при втягивании синхронизм. Для решения уравнений асинхронной машины при переменном скольжении требуется либо решить систему нелинейных дифференциальных уравнений, либо задаться определенным характером изменения скорости во времени и получить систему линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, аналогично ряду задач в теории синхронной машины. При выборе характера изменения скорости во времени проще всего пользоваться экспериментальными данными. Так например, часто за весь первый период разгона машины скорость увеличивается по прямолинейному закону. При пользовании уравнениями Стенлей трудно найти соответствующие выражения для вращающихся моментов.

Для некоторых задач может понадобиться разложение по бесселевым функциям, аналогично примененному нами при рассмотрении больших качаний синхронной машины. Интересно отметить, что это же разложение является одним из основных методов теории модулирования частоты в радиотехнике, где оно дало исключительные результаты. Мы имеем возможность воспользоваться рядом полученных радиотехниками интересных зависимостей, связанных с этим разложением.

Вообще нужно признать, что современная радиотехника в ряде вопросов пошла гораздо дальше теории электрических машин в отношении использования современных математических методов. Особенно это относится к вопросам нелинейной механики. Нелинейная характеристика электрической лампы заставила радиотехников разработать интересные графические и аналитические методы расчета режимов при нелинейных характеристиках системы (работы Ван-дер-Поля и др.).

Непосредственно связан с переходными процессами в асинхронных машинах вопрос об асинхронно-синхронных каскадах, применяющихся в США для гигантских аэродинамических труб вместо схемы Леонарда. При новой схеме через машины, регулирующие скорость, проходит только 15% основной мощности.

При проектировании нового синхронно-асинхронного каскада возникают некоторые трудности, связанные с выбором машин для агрегата переменной скорости и с тем, что машина двойного питания склонна к качаниям. Крупнейшие американские фирмы в последние годы усиленно занимались этим вопросом. В годы войны опубликован ряд статей по качаниям машины двойного питания. Качаниями асинхронно-синхронного каскада занимались такие крупные специалисты, как Лившиц и Крон. При рассмотрении явлений качания Крон пользуется созданной им тензорной теорией машины.

Практика последних лет показывает, что тензорная теория электрической машины является мощным орудием, облегчающим физическое рассмотрение и упрощающим сложные выводы. Тензорная теория позволяет легко переходить от одной системы координат к другой с соответствующим преобразованием переменных. Это дает возможность выбрать для данной задачи ту систему координат, при которой решение получается наиболее простым.

Уравнения синхронной машины Парка по существу оказались такими благотворными только потому, что удачно была выбрана система координат.

нат: величины рассматриваются со стороны наблюдателя, «сидящего» на роторе. Благодаря этому дифференциальные уравнения избавляются от переменных тригонометрических коэффициентов.

При решении ряда задач удобнее производить преобразование не к вращающимся осям, а к неподвижным, при этом трехфазную систему обмоток заменяют двухфазной для исключения влияния взаимной индукции обмоток. Этот метод с успехом может быть применен в теории переходных режимов асинхронной машины, а также и в ряде вопросов теории синхронной машины. Метод симметричных координат Фортеского является также не чем иным, как таким подбором координат, при которых исключалось бы явление «взаимной индукции» между новыми переменными.

Крон применил общую теорию преобразования координат и, используя матричную и тензорную запись, внес существенный вклад в теорию электрической машины.

Исследование новых вопросов электрических машин с помощью тензорной теории не всегда дает полезный эффект, так как количество переменных во многих случаях бывает невелико; тем не менее ясность и общность метода нередко облегчают рассмотрение, и не случайно Кроном созданы изящные эквивалентные схемы для расчета качаний синхронной машины и машины двойного питания.

Исследование переходных режимов в машинах постоянного тока. До сих пор исследование переходных режимов в машинах постоянного тока находится на сравнительно низком теоретическом уровне, что в значительной степени объясняется сложностью вопросов, в первую очередь связанных с учетом реакции якоря, учетом токов в массивных частях, учетом влияния коллектора.

Большое практическое значение имеет изучение внезапного короткого замыкания машин постоянного тока. Эта область теории машин еще ждет своего обобщающего исследования.

Основная трудность задачи заключается в сложности магнитной связи контуров обмотки якоря, обмоток главных и добавочных полюсов и компенсационной обмотки.

До последних лет основное внимание уделялось только двум видам влияния токов якоря на главное поле: продольной реакции якоря, вызванной сдвигом щеток с нейтрали, и поперечной реакции якоря, вызванной неравномерностью насыщения для путей главного потока, вследствие искажающего действия токов обмотки якоря. Давно известное влияние на главный поток коммутационных токов в секциях, замкнутых щетками, и действие добавочных полюсов при сдвиге щеток с нейтрали мало учитывались в электромашиностроении.

Сдвиг щеток с нейтрали приходится учитывать, так как по данным опыта при работе неизбежен некоторый сдвиг щеток с нейтрали, порядка $1 \div \pm 1,5\%$ от полюсного деления. Такой сдвиг может вызвать продольную реакцию якоря в несколько сот ампервитков в нормальном режиме и намного больше в режиме короткого замыкания. Реакция добавочных полюсов, вызванная сдвигом щеток, будет иметь примерно тот же порядок величины, что и продольная реакция якоря от сдвига щеток.

Влияние коммутационных токов на главное поле — коммутационная реакция якоря — является, как показывают опыт и расчеты, существенным

фактором, влияющим на протекание переходных процессов и, в частности, на короткое замыкание машины.

Важными являются также работы по электромашинным усилителям — амплидинам, представляющие большой практический и теоретический интерес. К этим работам у нас в Союзе приступили сравнительно недавно. В иностранной печати опубликовано очень мало работ по переходным режимам, связанным с применением амплидинов. Между тем большинство известных амплидинных систем имеет специальные стабилизирующие устройства против качаний.

Электропривод. Работы по переходным режимам в машинах являются только частью работы по проектированию сложных схем электроприводов и генераторов с комплексной защитой.

По схемам электроприводов предстоит большая работа. Как показывает опыт, фирмы Westinghouse и General Electric Co добились блестящих результатов в вопросах электропривода путем применения самых разнообразных принципов техники, широкого применения электроники и взаимной связи техники слабых и сильных токов. В результате изучение машин становится неотделимым от изучения схемы. Предстоит внедрить амплидины и электронное управление, современное быстродействующее регулирование и элементы высокочастотной защиты, выпрямление тока и слаботочную связь регулируемых элементов.

Внедрение новых принципов и освоение новых задач требуют значительного расширения кругозора электромашиностроителей.

Электрическая изоляция и перенапряжения в обмотках электрических машин. Электрическая изоляция является самым слабым и наиболее повреждающимся элементом электрической машины. Именно электрическая изоляция в основном определяет надежность машины и в большинстве случаев вследствие несовершенства своих термических качеств — ее мощность.

Помимо этого электрическая изоляция машин является самым слабым местом в системе генератор-трансформатор-линия-потребитель. В аппарате, в линии и в трансформаторе удается получить гораздо более высокий уровень изоляции, чем в электрической машине. Имеются технико-экономические, конструктивные и производственные факторы, определяющие такое положение.

Ряд явлений, связанных с проникающими в машины и возникающими в них перенапряжениями, до сих пор еще недостаточно изучен. Электрическая изоляция машин особенно чувствительна к атмосферным перенапряжениям и вообще к перенапряжениям крутого фронта. Можно создать хорошую изоляцию всех обмоток машины по отношению к корпусу, но изолировать каждый виток на большое напряжение нет возможности из-за огромного удорожания машины при этом. Некоторые данные по витковой изоляции фирмы ASEA приводятся в таблице (стр. 20).

Опыт показывает, что защита электрической машины от напряжений крутого фронта, опасных для витковой изоляции, посредством трансформаторов, кабелей и др. не всегда дает надлежащий эффект. Емкость, приключаемая параллельно обмотке статора, резко снижает крутизну атмосферных перенапряжений, однако включение добавочной емкости

kV	MVA	Число слоев микрокаленты	1-минутное пробивное напряжение kV при 90°C	Расстояние от меди до меди, mm	Пробивной градиент kV/mm
3,3	0,5	1	0	0,5	12
6,6	1	1	9	1	9
6,6	10	2	11	1	11
11	1	2	11	1	11
11	10	3	16	1,5	10,7
16	50	4	20	2	10
22	100	5	23	2,5	9,2

может вызвать довольно крутые перенапряжения по другой причине, а именно, создавая опасные при действии выключателей высокочастотные колебательные контуры (рис. 4). Опыт показывает, что электрическая машина с точки зрения проникнове-

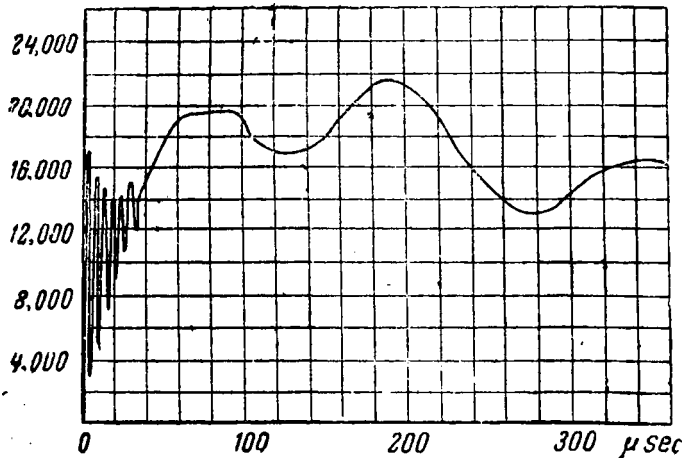


Рис. 4. Повышение напряжения при срабатывании.

ния напряжений с крутым фронтом более походит на линию, чем на трансформатор. Происходящим вследствие этого глубоким проникновением в обмотку крутых перенапряжений в последнее время, например, объясняют ряд аварий, имевших место в турбогенераторах на 33 kV, выпускаемых английской фирмой Парсонс. Эти турбогенераторы имеют обмотки статора с двумя ступенями изоляции. Фридлендер опубликовал в Англии в декабре 1942 г. работу, показывающую, что перенапряжения с крутым фронтом проникают в далеко удаленную от сети часть обмотки, соответствующую второй ступени изоляции, вызывая аварии.

Кроме напряжений крутого фронта — атмосферных и коммутационных — могут возникать перенапряжения относительно низких частот. Таковы перенапряжения от сброса нагрузки и разгона машины, перенапряжения от самовозбуждения, перенапряжения при внезапных и установившихся несимметричных коротких замыканиях, перенапряжения, вызываемые перемещающимися дугами, коммутационные перенапряжения низкой частоты и др. Из этих перенапряжений для нас особый интерес представляют так называемые динамические перенапряжения, которые связаны с конструкцией машины, в частности с наличием демпферной обмотки. Природа этих перенапряжений еще мало исследована.

Вопрос о проникающих в машину и возникающих в машинах перенапряжениях, это — только одна группа вопросов, связанных с электрической изоля-

цией. Другая группа вопросов, это — наши представления об электрической изоляции.

Механизм пробоя твердой электроизоляции машине до сих пор недостаточно изучен. Существует два типа пробоя электрической изоляции — тепловой пробой и электрический пробой. Наиболее разработана теория теплового пробоя электроизоляции. К сожалению, пробой в машине часто носит тепловой характер.

Теория электрического пробоя в твердой составной изоляции вообще еще недостаточно разработана.

Как пример важных результатов, полученные при углубленном изучении электрического пробоя твердой составной изоляции, можно привести работу крупного американского специалиста Уайтхеда. При изучении бумажной изоляции, пропитанной маслом Уайтхед пришел к выводу, проверенному опытом, что изоляция из неплотной бумаги, пропитанная маслом, обладает в ряде случаев лучшими электрическими качествами, чем бумага более плотная. Это противоречит практике работы многих кабельных заводов.

В 1942—1943 гг. в США имела место дискуссия по этому вопросу. Физическая причина результатов Уайтхеда может быть выявлена при рассмотрении интересующей нас изоляции, как состоящей не из одного элемента, а из ряда составляющих, имеющих резко отличающиеся диэлектрические постоянные.

Важной проблемой в вопросах электрической изоляции является проблема воздуха. Несмотря на компаундирование изоляции под вакуумом, покрытие стержня полупроводящей лентой и полупроводящими лаками, остается проблема пробоя воздушных прослоек в изоляции, проблема воздушных слоев находящихся между изоляцией и металлом и между изолированными стержнями. Тонкие слои воздуха оказываются под большими электрическими градиентами вследствие относительно малой диэлектрической постоянной воздуха.

На поверхности изоляции лобовых частей обмотки имеет место потенциал, почти равный потенциалу меди. В результате появляются довольно значительные для воздуха градиенты на поверхности изоляционных прокладок между секциями обмотки. Коронирование и другие явления, связанные с появлением высоких градиентов в воздухе, существенно ограничивают возможность экономичного выполнения высоковольтных машин и требуют ряда мер для сведения этих нежелательных явлений к минимуму.

Другой сложной проблемой в области электрической изоляции машин является проблема влажности. Обычно ни одна крупная машина не ставится под нагрузку, пока она не будет высушена. Общеизвестно вредное влияние влажности на работоспособность электрической изоляции. Большое значение имеет для практики система контроля состояния электрической изоляции. Существующая система контроля мегомметром недостаточна. Подробные испытания в этой области дали возможность установить влияние состояния изоляции на изменение величины тока утечки изоляции во времени (рис. 5).

Зависимость токов утечки составной электрической изоляции от времени связана с так называемым явлением диэлектрической абсорбции, изучавшейся еще Максвеллом, который дал теорию состав-

ного диэлектрика, и Вагнером, давшим теорию капельных включений с резко отличающимися диэлектрической постояннной и активной проводимостью. За последние годы удалось добиться определенных успехов в изучении физических явлений, лежащих в основе диэлектрической абсорбции. Наблюдения над токами утечки для контроля электрической изоляции при надлежащей разработке методики и аппаратуры могут помочь своевременному определению дефектов изоляции.

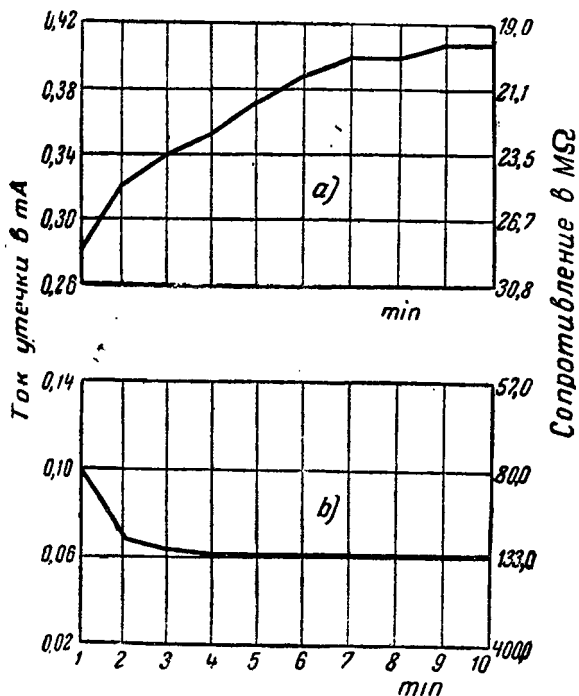


Рис. 5.

а — ток утечки дефектной изоляции; б — ток утечки здоровой изоляции.

При испытании изоляции каждое испытание несколько ухудшает ее, вызывая как бы микроскопические трещины (так называемый кумулятивный эффект). В настоящее время опубликованы новые работы, пытающиеся наметить методы испытания электрической изоляции без ее хотя бы частичного повреждения.

Механические вопросы. Механический расчет электрических машин в настоящее время освоен достаточно удовлетворительно. Дальнейшая работа должна идти в направлении изучения явлений вибрации и вопросов смазки.

По большому количеству претензий, получаемых заводами-изготовителями, по ряду аварий, связанных с вибрацией, можно судить с том, что несомненно вибрация является одним из существенных вопросов, которым следует серьезно заняться. На

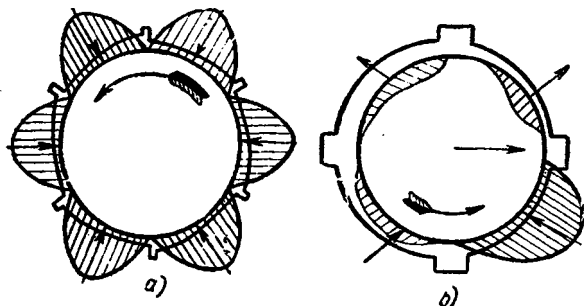


Рис. 6.

а — самоцентрирующий кольцевой направляющий подшипник; б — направляющий подшипник обычной конструкции.

очереди — подробное исследование вопроса о влиянии неравномерности жесткости ротора и подшипников на вибрацию, влияния жесткости фундамента, влияния масляной пленки и др.

Требуется разработка массового портативного точного прибора для замера амплитуд и частот вибрации.

Вопросы смазки также имеют немаловажное технико-экономическое значение. Правильной смазкой можно добиться значительной экономии материалов, спокойной, безвибрационной, надежной работы машины. Известно влияние смазки на к. п. д. машины. Есть новые работы, показывающие, что чем меньше масла пропускать в подшипники и чем выше температура смазки, тем меньше будут потери в подшипниках. С другой стороны, требования надежности не позволяют идти на большое повышение температуры смазки.

Отечественное электромашиностроение в вопросах смазки имеет определенные достижения. Подпятник гидрогенераторов Рыбинской гЭС, работающий с давлением в 40 kg/cm^2 (рис. 2), дает показатели по общей и удельной нагрузке, которые на крупных машинах еще не были получены до настоящего времени нигде в мире.

Имеется, однако, ряд нерешенных, важных для практики, вопросов. Следует отметить, например, затруднения с направляющими подшипниками в гидрогенераторах. Реакция масляной пленки подшипника в этом случае не совпадает с силой, которая отклоняет вал в том или ином направлении, что делает высокооборотные вертикальные машины склонными к вибрации (рис. 6). Проектирование направляющего подшипника, не обладающего раскачивающим действием, связано с углубленным рассмотрением явлений на основе современной гидродинамической теории смазки.

Весьма существенное значение имеет зазор в подшипниках. Существуют разнообразные взгляды и мнения относительно величины зазоров в подшипниках. Требуется систематизация опыта в области влияния зазоров в подшипниках на надежность и экономичность машины; нужно установить определенные правила выбора зазоров, учитывая результаты современной гидродинамической теории смазки и данные накопленного опыта. Правильные зазоры в подшипниках связаны со спокойной работой машины и с малыми потерями в подшипниках.

Вопросы вентиляции. Рациональная вентиляция таит огромные возможности повышения плотностей токов и, следовательно, в ряде случаев повышения мощностей. Решение вентиляционно-аэродинамических вопросов до сих пор проходит в практике электромашиностроения несколько кустарно. Это связано с известными трудностями аналитического расчета разветвленной вентиляционной сети.

Электрическая машина с точки зрения вентиляционного расчета представляет собой сложную систему отверстий — диафрагм с эквивалентным диаметром, большим по сравнению с эквивалентной длиной воздушного потока в машине. Напор теряется в основном не на трение о стенки каналов, а на потери скорости при внезапных изменениях скорости и поворотах струй. Такая вентиляционная система в некоторых отношениях напоминает сложную электрическую схему с той разницей, что в эквивалентной электрической схеме будет действовать вместо закона Ома (падение напряжения про-

порционально силе тока) другой закон—падёние напряжения, пропорциональное квадрату силы тока. Замена закона Ома квадратичным законом значительно усложняет задачу расчета вентиляционной цепи. Результирующие сопротивления при простом, последовательном или параллельном соединении получить нетрудно, но получить формулы, эквивалентные формулам перехода с соединения звездой на соединение треугольником и наоборот, в вентиляционной цепи так просто не удастся.

Отдельно стоит вопрос о вентиляционном расчете машин с водородным охлаждением. Мощность машины может быть повышена при повышении давления, что связано с большим расходом водорода и иногда с понижением к. п. д.

Тепловые расчеты. Вопросы вентиляции непосредственно связаны с тепловыми расчетами. Наблюдающаяся обычно в электрических машинах неполная тепловая нагрузка одной части машины при предельно загруженной другой части указывает на наличие сложного комплекса вопросов, связанных обычно с к. п. д. машины. Есть ряд потерь, которые вызывают местные нагревы, могущие создать аварийные очаги.

Задача состоит в том, чтобы уточнить, с одной стороны, расчет местных потерь, особенно при пуске при несимметричных переходных режимах, и, с другой стороны, более тщательно рассчитать распределение тепла и температур в машинах.

Разработанные за последние годы эквивалентные электрические схемы, составленные из контуров с омическим сопротивлением и емкостью, в ряде случаев облегчают решение тепловых задач.

Выводы. Не представляется возможным сколь-нибудь исчерпывающе осветить в рамках журнальной статьи теоретические вопросы электромашиностроения, важные для практики, ибо их слишком много; однако и перечисленного достаточно для оценки той работы, которая предстоит в теории электромашиностроения.

Для дальнейшей успешной работы необходимо: усиление связи наших научно-исследовательских институтов с электромашиностроительными заводами; значительное расширение лабораторной базы на заводах; развитие широкого обсуждения новых вопросов электромашиностроения на страницах технической печати; более глубокое ознакомление наших инженеров с новейшими достижениями зарубежной электротехники; расширение реферирования отечественных и зарубежных работ по электрическим машинам и по смежным областям науки и техники; внедрение эффективного математического аппарата при решении теоретических вопросов электромашиностроения; тщательная систематизация опыта эксплуатации, расчета и проектирования электрических машин.

ЛИТЕРАТУРА

К СТАТЬЕ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИЯ»

Вопросы проектирования, экономичности, надежности электрических машин

1. К. И. Шенфер. Некоторые вопросы развития современного электромашиностроения. *Электричество*, № 5—6, 1944.

2. Г. Н. Петров. Геометрия электрических машин переменного тока. *Электричество*, № 3, 1944.

3. Е. Г. Комар. Эксплуатация турбогенераторов. Госэнергоиздат, 1944.

4. В. А. Трапезников и Е. Н. Зорин. Асинхронные машины со стеклянной изоляцией. *Электричество*, № 1944.

5. Г. Н. Петров. Технические проблемы трансформаторостроения. *Электричество*, № 8, 1944.

6. А. И. Бертинов. Советское высоковольтное амперостроение. *Вестник электропромышленности*, № 11—1944.

7. Дискуссия к статье К. И. Шенфера «Некоторые вопросы развития современного электромашиностроения» — статья: Е. Г. Комара, И. А. Сыромятникова, Г. Н. Петров. *Электричество*, № 8, 1944.

8. А. Е. Алексеев. Методические указания по упрощению проектированию электрических машин. Работы МЭИ, № 1944.

9. M. L i w s c h i t z. Are all the Basic Problems solved? *Electric Machine. El. Eng.*, № 2, 1944.

10. H o b a r t. Critical-material Conservation in Induction Motors Manufacturing. *El. Eng.*, v. 62, № 8, 1943.

11. H. S h a w. Industrial Processes and Electric Design. *World*, v. 121, № 2, 1944.

12. Kilowatts, kilovolts and System Investments. *El. Eng.*, № 3, 1943.

13. V. W o l l and V e r n K. A l d e m. Oversize Induction Motors — A Post War Problem. *El. World*, v. 121, № 20, 1944.

14. Дискуссия по $\cos \varphi$ в турбогенераторах. *El. World*, Febr. 5, 1944.

15. V o i g t H. Über die Beurteilung von Stromverdrängungsmotoren. *E. u. M.*, H. 15/16, 1943.

16. T. C. L l o y d. Some Aspects of Electric Motors-Design. *Polyphase Induction Motor. El. Eng.*, № 1, 1944.

17. B o o r s and K a r r. A. Design Method for Designing Machines. *El. Eng.*, № 4, 1944.

18. Entwicklung des Elektromaschinenbaues. *E. u. M.*, H. 26—34, 1943.

19. R. V. S h e p h e a d, C. E. H i l b o u r n e. The Quadrature Synchronous Reactance of Salient Pole Synchronous Machines. *El. Eng.*, vol. 62, № 11, 1943.

20. O. P ö l l o t. Die Nuttrennung bei geschlossenen Netzen. *E. u. M.*, H. 23—24, 1943.

21. W. K r a s s o w s k y. Die Arbeiten des VDE auf dem Gebiet der Maschinen, Transformatoren und Stromrichter. *E. u. M.*, H. 3/4, 1943.

22. W. B a d e r. Das elektrische Feld der offenen Windmühlen. *E. u. M.*, H. 27/28, 1943.

23. R. E. H e l l m u n d. Analysis of Rating Methods for Intermittent Loads. *El. Eng.*, Tr. S. 4, № 1, 1943.

Вопросы режимов машин и вопросы электропривода

24. В. П. Никитин и Н. П. Куницкий. Устойчивость работы и переходные процессы системы Леонарда. Доклады Академии наук СССР, новая серия, т. 42, № 1, 1944.

25. В. К. Попов. Автоматизированный электропривод перспективы его развития. *Электричество*, № 5—6, 1944.

26. В. И. Коваленков. Значение и задачи автоматизации телемеханики. *Электричество*, № 8—9, 1944.

27. Д. А. Городский. Асинхронный ход синхронной машины. *Электричество*, № 1—2, 1944.

28. Д. А. Городский. Теория сельсинов. *Вестник электропромышленности*, № 1—2, 1943.

29. П. С. Жданов. Компонированные схемы возбуждения синхронных машин. *Вестник электропромышленности*, № 9, 1943.

30. П. А. Свириденко. К теории переходных процессов асинхронных машин. *Известия Академии наук, Отд. техн. наук*, № 3, 1944.

31. П. А. Свириденко. Анализ переходных процессов трехфазной коллекторной машины. Доклады Академии наук СССР, новая серия, т. 42, № 1, 1944.

32. Д. П. Морозов. К теории электромеханических процессов в электроприводах станов холодной прокатки. *Вестник электропромышленности*, № 3, 1944.

33. В. Т. Касьянов. Расчет процесса регулирования магнитных полей электрических машин. *Вестник электропромышленности*, № 5—6, 1944.

34. В. Т. Касьянов, Н. С. Стрельцов. Расчет возбуждения и гашения магнитного поля электрических машин. *Вестник электропромышленности*, № 3, 1944.

35. В. Т. Касьянов. Расчет процессов пуска, торможения, реверса и регулирования скорости и нагрузки электрических двигателей постоянного тока. *Вестник электропромышленности*, № 10, 1944.

36. К р а с у с к и й. Исследование асинхронной компенсированной машины в генераторном режиме. *Известия Академии наук, отд. техн. наук*, № 3, 1944.

37. Л. В. Литвак. Построение механической характеристики короткозамкнутых асинхронных двигателей. Электричество, № 8—9, 1944.

38. Г. Н. Петров. Расчет размагничивающего действия поперечной реакции якоря машин постоянного тока. Вестник электропромышленности, № 10, стр. 15, 1944.

39. М. С. Мееров. Некоторые вопросы устойчивости регулирования напряжения электрических генераторов. Вестник электропромышленности № 9, 1943.

40. Я. С. Ципкин. О цепях, содержащих катушку с железом. Электричество, стр. 26, № 10, 1944.

41. Л. В. Цукерник и И. А. Смирнов. Основы расчета падающих синхронных генераторов. Электричество, № 3, 1944.

42. Доклады И. А. Сыромятникова, П. Г. Грудинского, И. С. Брука, И. М. Марковича, Л. И. Гуренмахера, И. С. Стекольниковой на сессии Ученого совета Энергетического института Академии наук СССР в мае 1944 г.; см. отчет о сессии — Электричество, № 7 (1944).

43. И. М. Маркович и С. А. Савалов. Практические критерии статической устойчивости электрической системы. Электричество, № 3, 1945.

44. W. B. Coultherd. The Theory of Cascading of Induction Motors Mechanically Coupled to Q. E. Commutator Motors. J. of Franklin Inst., vol. 236, p. 167—90, № 2, 1943.

45. E. Courtin. Der Einfluss von Grossmotoren auf Industriennetze. E. u. M., S. 181, H. 17/18, 1943.

46. A. Korb. Der Einfluss des Schwungmoments, der Kupplungselastizität und der Dämpfung auf die elektrische Pendelleistung bei synchronen Kolbenmaschinen. E. u. M., S. 211, H. 19/20, 1943.

47. K. Metzler. Das Drehmoment des Gleichstromreihenschlussmotors. E. u. M., H. 8/10, 1943.

48. W. Nürnberg. Die Ankerrückwirkung der Gleichstrommaschine. E. u. M., S. 129, H. 11/12, 1943.

49. I. Hanka. Graphische Ermittlung des Spannungsabfalles durch Feldverzerrung bei Gleichstrommaschinen. E. u. M., S. 149, H. 13/14, 1943.

50. C. N. Schabbe. Die Bestimmung der Wendepole bei Gleichstrommaschinen auf Grund praktischer Ergebnisse. E. u. M., S. 247, H. 21/22, 1943.

51. F. Moldenhauers. Das direkte Einschalten von grossen Motoren und die Rückwirkung auf die Netze. E. u. M., S. 337, H. 29/30, 1943.

52. Boice. Matching Synchron Motor Excitation to a Fluctuating Load. GER, May, 1943.

53. W. Seir. Arbeit der Synchronmaschine auf ein starres Netz über Fernleitung mit Spannungstützpunkt. E. u. M., S. 162, H. 15 16, 1943.

54. Hopper. Electronic Control for Steel Mill Auxiliaries. J. Stell Eng., v. 20, p. 62, 1943.

55. C. W. Kuhn. Selection of Thermal Overload Motor Protection. El. World, April, 1944.

56. D. C. Motor Control with A. C. El. Industry, Oct, 1943.

57. Electronic Variable-Speed Drive for Mach. Tools. The Iron Age, v. 151, March, 1943.

58. E. Rodewald. Verlustlosregelbare Drehstromantriebe. E. u. M., S. 345, H. 29/30, 1943.

59. J. Kusera. Parametrische Linien in Stromdiagrammen der elektrischen Maschinen. E. u. M., S. 55, H. 5/6, 1943.

60. D. I. Maа. A General Reactance Theory for Electrical, Mechanical and Acoustical Systems. IRE, VII, vol. 31, № 7, p. 365, 1943.

61. M. A. A. Ister. Equivalent Circuit of the Electromagnetic Field. GER, III, v. 47, № 3, 1944.

62. R. D. Evans, R. L. Witzke. Practical Calculation of Electrical Transients on Power Systems. El. Eng., XI, v. 62, № 11, 1943.

63. W. Parke a. H. Trayers. Reclosing of Single Tie Lines Between Systems. Trans. AIEE, March, 1944.

64. Über die Einflüsse fehlenden Stäbe auf Verhalten von Kurzschlussmotoren.

65. A. Leonhärt. Untersuchung von mehrfach regelten Systemen mit Hilfe des Operatorenrechnung. E. u. M., S. 329, H. 27/28, 1943.

66. Th. Bodefild. Die asynchronen und synchronen Drehmomente der Synchronmaschine mit Schenkelpolen., E. u. M., H. 25 26, 1943.

67. Jordan u. Smidt. Über die Unterdrückung der Pendelneigung elektrischer Wellen. E. u. M., H. 25/26, 1943.

68. G. Kron. Equivalent Circuits for Oscillating Systems and the Riemann-Christoffel Curvature Tensor. Tr. AIEE, v. 62, Jan. 1943.

69. G. Kron. Steady-State and Hunting Equivalent Circuits of Long-Distance Transmissionsystems. GER, v. 46, June 1943.

70. G. Kron. Self-excited Oscillations of Capacitor Compensated Long-Distance. Trans. Systeme. Tr. AIEE, Jan. 1943.

71. Drehmann. Der Inritfallvorgang bei unter Last anlaufenden Synchronmotoren. E. u. M., Bd 61, № 11 12, 1943.

72. Boice, Coldwell, Halberg. Synchron Motors with Controlled Excitation for Suddenly Applied Loads. El. Eng., № 3, 1943.

73. Easton, Some Factors Affecting the Design of Alternator for Switchgear testing. Journal IEE, v. 90, Part II, № 16, 1943.

74. Interim Report on Application and Operation of out of step Protection. AIEE. Relay Subcommittee. El. Eng., Sept. 1943.

75. Fieckert. Der Ausgleichsvorgang beim Einschalten von Asynchronmotoren. E. u. M., Bd. 61, № 13/14, 1943.

76. Grever. Fundamental Principles of Amplidyne Applications. El. Eng., № 10, Sept. 1943.

77. Huston. Amplidyne Control for Adjustable Voltage Drives. Iron and Steel Engineer, v. 20, July 1943.

78. Huston. What the Amplidyne Has Contributed to Reversing Blast Furnace a. Steel Plant, v. 31, June 1943.

79. Bailey. Present and Future of Electronic Control in Industry. Industry a. Power, v. 44, Sept. 1943.

80. White. Where to Find Specific Information on Electronic Uses in Industry. Electronic Industries, № 2, June 1943.

81. Fendlay. Electronic Motor Control. GER, v. 46, 1943.

82. Mayer, Palmer. Thyatron Motor Control. Tr. AIEE, v. 62, Nov. 1943.

83. Electronic Tubes Power Adjustable Speed Drives. Power, July 1943.

84. Palmer, Laign. Inverter Action on Reversing of Thyatron Motor Control, Tr. AIEE, April 1944.

85. Mayer. Electronic Control of D. C. Motors. Electronics, May, June, July, Sept., Oct. 1943.

86. Helard Rader. Industrial Control El. Eng., v. 62, № 7, 1943.

87. Speed Control of A. C. Motors with Thyatrons, Electronics, June, 1943.

88. C. Concordia. Steady-State Stability of Synchronous Machines. El. Eng., Tr. p. 213, № 5, 1944.

89. John L. Baum. Asymmetrical Stator as Means of Starting Induction Motors. El. Eng., p. 245 (Trans. Section), May 1944.

90. H. L. Ste mast. Impedance Circle Diagrams. GER, v. 47, p. 20, № 8, 1944.

91. A. G. Consad, S. T. Smith, P. F. Ordnung. A New Type of Adjustable-Speed Drive, for A-C. Systems. El. Eng., № 1, 1943.

Вопросы механических, тепловых и вентиляционных расчетов

92. А. Б. Иоффе. Тепловой расчет закрытых машин повторно-кратковременного режима. Вестник электропромышленности, № 5—6, 1944.

93. А. Б. Иоффе. О неустановившихся режимах тяговых двигателей постоянного тока. Вестник электропромышленности № 3, 1944.

94. Б. М. Тареев. Измерение теплопроводности и поверхностной теплоотдачи покровной электроизоляции. Вестник электропромышленности, № 4, 1944.

95. И. Г. Одинг. Вопросы технологии машиностроения в проблеме точности. Вестник машиностроения, № 11—12, 1943.

96. Critical Speed of a Rotor with Unequal Shaft Flexibilities Mounted in Bearing of Unequal Flexibility. Journ. of Appl. Mechan., June 1943.

97. Application and Limitation of Mechan. Electr. Analogies Miles. Journ. of the Acoust. Society of America, v. 14, Jan. 1943.

98. Electronic Apparatus for Vibration Testing. Electronics, v. 16, 1943.

99. Diamond. Vibration Displacement Indicator, GER, v. 6, Dec. 1943.

100. Rosc. Field Balancing of Rotat. Equipment. Iron a. Steel Eng., Sept. 1944.

101. Kroon. Balancing of Rotating Apparatus. Journ. of Appl. Mechan., Dec. 1943.

102. Electr. Models in the Teaching a. Application of Vibrationtheory. Journ. Eng. Educat., Nov. 1943.

103. Новый прибор для измерения вибраций фирмы Televis Product (Chicago). Machinery Lloyd, v. XV, № 26, 1943.

104. F. P. Porter. Harmonic Coefficient of Engine Torque Curves. Journ. of Appl. Mechan., v. 10, № 1, 1943.

105. V. Paschkis, M. P. Heisler. The Accuracy of Measurements in Lumped R—C Cable Circuits as Used in the Study of Transient Heat Flow. El. Eng., № 4, 1944.

106. Jakob. Influence of Nonuniform Development of Heat upon the Temperature Distribution in Electrical Coils. Tr. ASME, v. 65, № 6, 1943.

107. Müller. Zur Behandlung stationärer Wärmeströmungen mittels elektrischer Abbild, E. u. M., № 1/2, 1943.
 108. By L. S. Rhodes. The Relationship between Reynolds Number and Velocity Distribution., Journ. of Appl. Mech., v. 10, № 1, 1943.
 109. O. Discher. Schwingungstechnische und dynamische Betrachtungen bei Maschinengründungen E. u. M., H. 25 26, 1943.
 110. J. I. Brewster. Test and Predicted Oil Cooler Performance, London.
 111. Fr. ASME, v. 66, № 1, p. 75, 1944.

Вопросы перенапряжения и изоляции

112. В. Т. Ренне. Связь физико-химических и электрических свойств конденсаторной бумаги. Вестник электропромышленности № 7, 1944.
 113. Richardson. El. World, v. 119, April 17, 1943.
 114. Discharges in Dielectrics. El. Review, March 3, 1944.
 115. Hunter. Machines Closely Connected to Overhead Lines Rudje Iox. GER, v. 46, October 1943.
 116. M. c. Keever. El. News a. Eng., v. 52, March 15, 1943.

117. Travelling Waves in High-Voltage Altern Wind Journ. IEE, v. 90, p. II, № 14, 1943.

118. Corrolation of System Overvoltages and System Grounding Impedance. AIEE Committee — on Protective Devices. Eng., Jan 1943.
 119. The Effect of Humidity on Electrical Measurement. R. F. General Radio Experimenter, v. 18, № 3, 1943.
 120. E. Tüxen. Das Oberwellenverhalten mehrfasig Wechselstromwicklungen. E. u. M., № 23/24, 1943.
 121. Shroeder. The Cause and Control of Some Type of Switching Surges. Tr. AIEE, v. 62, Nov. 1943.
 122. Hunt, Bochner and Peterson. Switching Overvoltage Hazard Eliminated in Highvoltage Oil-Circuit Breakers. Tr. AIEE, v. 62, Febr. 1943.
 123. Выполнение статорных обмоток крупных машин. ASE Tidning, № 9 — 10, 1943.
 124. Проникновение напряжений крупного фронта электрич. машину. Journ IEE, May 1943.
 125. Foust R. anart. Insulation Testing of Electric Windings. El. Eng., № 4, 1944.

Новые типы современной высоковольтной аппаратуры

К работам Всесоюзного электротехнического института

Для развития энергетической базы Советского Союза высоковольтное электроаппаростроение, как отрасль электротехнической промышленности, имеет исключительно большое значение. Типы аппаратов, их характеристики и эксплуатационные показатели определяют собой в значительной степени конструкции распределительных устройств, надежность электроснабжения, эксплуатационные затраты.

Отечественное высоковольтное электроаппаростроение может быть охарактеризовано как отстающая и далеко не обеспечивающая запросы энергетики отрасль электропромышленности. Особенно остро в настоящее время обстоит дело с выключающей аппаратурой, а также с аппаратурой защиты от перенапряжений.

В связи с этим перед Всесоюзным электротехническим институтом правительственными органами была поставлена задача разработать и передать в производство ряд новых аппаратов высокого напряжения: мощные высоковольтные предохранители, разъединители мощности, безмасляные выключатели, вентильные и трубчатые разрядники.

Экономическое и техническое значение для народного хозяйства всех этих видов аппаратов весьма велико. Вряд ли необходимо доказывать, что широкое использование в эксплуатации мощных предохранителей в комбинации с разъединителями мощности позволит во многих случаях отказаться от масляных выключателей со всем их оборудованием (трансформаторы тока, приводы, реле). Внед-

рение безмасляных выключателей, повышая надежность эксплуатации установок, упрощает уход за этими ответственными аппаратами.

Не требует особых комментариев и то положение, что потребность в высококачественных аппаратах защиты от перенапряжений подстанционной изоляции, вращающихся машин, линейной изоляции также велика.

В настоящем номере журнала публикуется ряд работ ВЭИ в области коммутационной и защитной аппаратуры. Разработанные и исследованные аппараты, отражая современные достижения мировой техники, представляют собой важный шаг вперед по сравнению с тем, что имело место в нашей промышленности до настоящего времени. Изыскание и применение новых материалов, таких как вилит в вентильных разрядниках, органическое стекло в разъединителях мощности, позволили получить существенно улучшенные технические и эксплуатационные характеристики этих аппаратов. Рассматриваемые в данных статьях аппараты освоены или осваиваются заводами электропромышленности, а также заводами других наркоматов.

ВЭИ в настоящее время ведет разработки по безмасляным выключателям (воздушные, газогенерирующие и магнитные). Достигнуты первые успешные результаты в этом направлении. Последующий восстановительный период в нашей электропромышленности должен ознаменоваться освоением новой современной высоковольтной аппаратуры.

Трубчатые разрядники на основе нового газогенерирующего материала

Доктор техн. наук, проф. Ю. В. БУТКЕВИЧ, инж. Е. С. ГРОЙС и инж. М. Л. ЗЕЛИКИН
ВЭИ, НКЭС и завод „Энергодеталь“

В работе рассматривается вопрос о новом типе трубчатого разрядника на основе органического стекла. Высокая влагостойкость этого материала позволяет не демонтировать разрядники с установок на зимнее время, что значительно упрощает эксплуатацию. Новые разрядники изготавливаются в настоящее время заводом НКЭС „Энергодеталь“ и будут широко проверены в эксплуатации.

Союзная электропромышленность выпускала до войны и продолжает выпускать в настоящее время трубчатые разрядники, у которых дугогасящим материалом является фибра. Ввиду малой механической прочности фибры на нее наносится слой бакелизированной бумаги. Вследствие гигроскопичности бакелизированной бумаги наружная поверхность трубки покрывается лаком. Однако под влиянием атмосферных воздействий поверхностный слой сравнительно быстро разрушается и теряет свои электроизолирующие свойства. Появляется возможность перекрытий по поверхности трубки. Для избежания этого в эксплуатации приходится ежегодно демонтировать разрядники на зимнее время, а перед установкой на следующий грозовой сезон чистить их, сушить и лакировать. Все это вносит существенные затруднения, сопряжено с дополнительными затратами и все же не избавляет эксплуатацию от аварийности. Следует к тому же заметить, что фибра производства союзных заводов как дугогасительный материал обладает рядом серьезных недостатков: она быстро изнашивается, расслаивается, дает трещины при высыхании и т. д.

Естественно поэтому, что изыскание нового материала, обладающего высокой атмосферной устойчивостью, достаточной механической прочностью и активным дугогасительным действием, явилось одной из основных задач в работах, направленных к улучшению трубчатых разрядников.

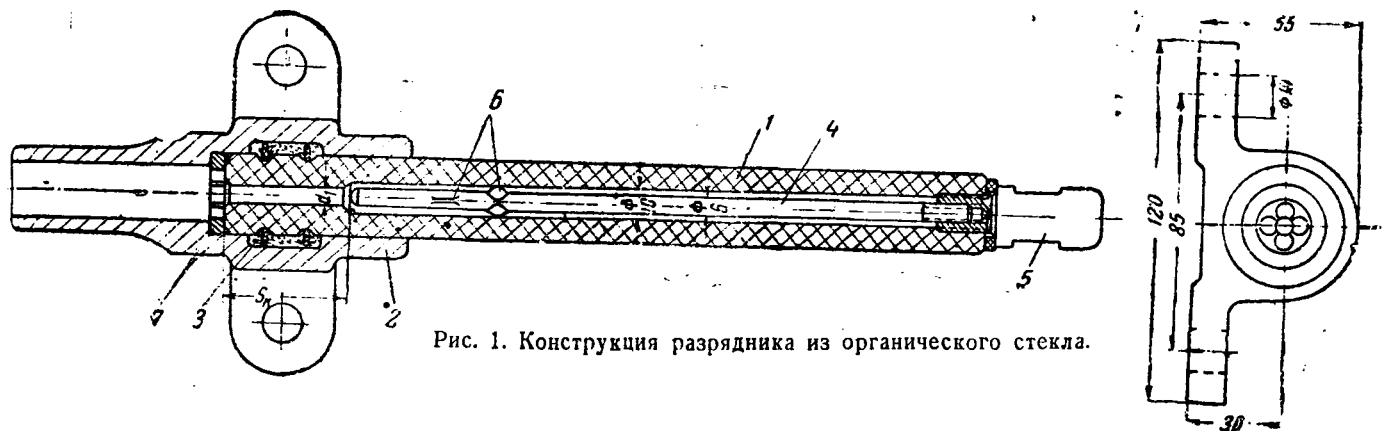


Рис. 1. Конструкция разрядника из органического стекла.

Исследованиями, проведенными в ВЭИ, было показано на основе сопоставления ряда материалов, что значительный интерес представляет для трубчатых разрядников полиметилметакрилат, выпускаемый в настоящее время химической промышленностью в виде литых досок под названием «органическое стекло»¹.

Влагостойкость этого материала исключительно высока. Механическая прочность при статическом воздействии также достаточно велика (растяжение — 600 ÷ 700 кг/см²; сжатие — 900 ÷ 1 000 кг/см²). Ударная вязкость, однако, меньше в три-четыре раза, чем у бакелита или текстолита, что выражается в большей хрупкости материала.

Дугогасительная способность органического стекла весьма значительна. Анализ состава газов, получающихся при разложении этого материала дугой, показывает значительное содержание в о д о р о д а (до 45%). Поверхность материала при воздействии дуги оплавляется и остается в хорошем состоянии, без каких-либо шлакообразований.

Первоначальные опыты по применению органического стекла для трубчатых разрядников были проведены с конст-

рукциями типа РТ с газовым резервуаром. Однако в таких конструкциях спустя 1 ÷ 3 полупериода после гашения первой полуволны возникали повторные зажигания. Как было установлено, эти явления полностью исчезают, если отказаться от дополнительного резервуара. Причиной повторных разрядов, повидимому, являлось зажигание газовой смеси накалившимся концом стержневого электрода. В этом процессе существенную роль играет кислород воздуха, заключенный в резервуаре. Однако небольшой резервуар в пределах самой трубки оказался безопасным с точки зрения повторных зажиганий, и поэтому был сохранен, так как он существенно способствует расширению диапазона отключаемых сопровождающих токов. Кислород воздуха в этом резервуаре, повидимому, полностью реагирует с водородом вследствие высокой температуры смеси в этой зоне.

На рис. 1 представлена конструкция трубчатого разрядника из органического стекла, разработанная после исследования ряда вариантов и принятая для промышленного изготовления на заводе „Энергодеталь“ НКЭС. Дугогасящая трубка 1 из органического стекла закрепляется в литой силуминовой (вторичный алюминий) обойме 2 при помощи заливки цементом 3 внутренней полости обоймы и специальных канавок в трубке. Для усиления механической прочности в канавки вкладывается железная арматура.

Стержневой электрод 4 из оцинкованного железа закрепляется в силуминовой пробке 5, наружная часть которой является одновременно одним из электродов внешнего промежутка разрядника. На стержневом электроде выштампованы центрирующие выступы 6. Вторым электродом внутреннего промежутка является оцинкованная железная шайба 7 с отверстием в форме звездочки, которая обеспечивает нормальную работу разрядника при увеличении, в процессе эксплуатации, внутреннего диаметра трубки.

Разрядник крепится при помощи лапок, составляющих одно целое с обоймой.

Наружная поверхность газогенерирующей трубки тщательно шлифуется. Отсутствие необходимости в покровных лаках, изготовление основной металлической арматуры из алюминия и оцинковка стальных деталей делают эту конструкцию весьма стойкой против атмосферных воздействий и способной эксплуатироваться несколько лет без демонтажа.

Такого рода трубки были подвергнуты подробному исследованию. Существенный интерес с точки зрения установления дугогасящей способности этих трубок представляет выявление эквивалента между энергией дуги A (кВтсек), расходом материала ΔG (г) и объемом газа V (л).

На рис. 2 показана для одной серии опытов зависимость между энергией дуги и расходом активного материала для

¹ Ю. В. Буткевич и А. М. Бронштейн. Технический отчет ВЭИ за 1943 г.

двух размеров трубки ($S_k = 40$ мм и $S_k = 100$ мм). Как видно, в канале большей длины на единицу выделившейся энергии приходится больший расход материала (0,035 г/kWsec), чем в более короткой трубке (в среднем — 0,025 г/kWsec). Для ориентировочных расчетов можно положить в среднем для трубчатых разрядников, что удельный расход материала (на 1 kWsec) составляет около 0,03 г/kWsec.

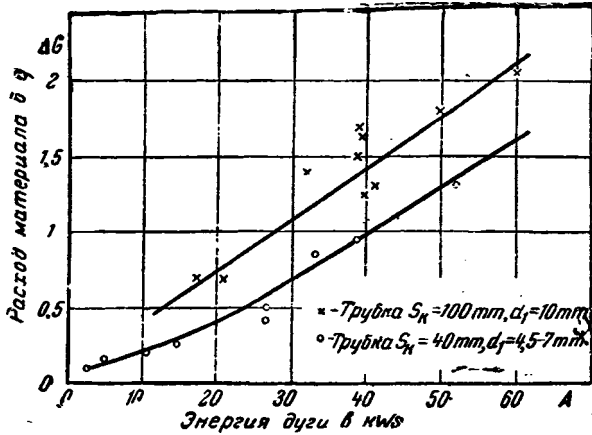


Рис. 2. Зависимость расхода материала (органического стекла) от величины энергии дуги.

Исследование зависимости между расходом материала (органическое стекло) и объемом газов (отнесенным к 1 ата и 20°C) показало, что 1 г органического стекла дает около 2 400 см³ газа. Замеры проводились методом измерения повышения давления газа в металлическом баллоне, к которому герметически прикреплялась трубка. Контрольные опыты при помощи замеров количества газа в резиновой подушке, из которой был предварительно удален воздух, дали примерно те же соотношения. Следует отметить, что фибра обеспечивает при разложении 1 г значительно меньший объем газа, а именно 1 200 ÷ 1 300 см³.

На основании приведенных данных можно заключить, что объем газа, соответствующий энергии дуги в 1 kWsec, составляет $2\,400 \times 0,03 = 70$ см³/kWsec. Интересно, что это значение очень близко совпадает с тем, что было получено различными авторами для дуги в масле.

Зависимость величины энергии дуги за один полупериод в канале разрядников от амплитуды тока представлена на рис. 3. Эти зависимости получены для частоты 25 Hz (для 50 Hz энергия одного полупериода примерно в два раза снижается). Диаграмма рис. 3 показывает, что энергия дуги приблизительно пропорциональна длине канала S_k внутреннего промежутка.

Полученные зависимости послужили основанием для установления связи между геометрическими параметрами дугогасительного канала, критическим градиентом гашения и минимальным отключаемым током.

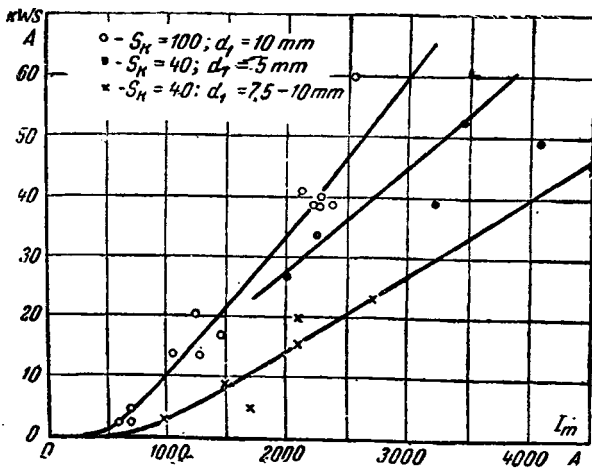


Рис. 3. Зависимость энергии дуги за один полупериод от амплитуды тока при $f = 25$ Hz.

Энергия дуги за полупериод равна

$$A = \int_0^T U i dt.$$

Полагая, что напряжение на дуге U есть величина, зависящая от силы тока i , и что U пропорционально длине канала s_k , а также допуская, что объем газа, выделенной стенками трубки, прямо пропорционален энергии дуги и обратно пропорционален диаметру канала, получим

$$A \approx C U I = C_1 U I s_k; \quad V = C_2 U I \frac{s_k}{d_1}.$$

На основании результатов измерений можно считать $U \approx \frac{1}{d_1}$, откуда

$$V = C_3 I s_k d_1^2.$$

Далее полагаем критический градиент гашения E_k пропорциональным давлению в канале p , а давление в свою очередь — пропорциональным количеству газа V , длине канала и обратно пропорциональным площади канала $F \approx d_1^2$, т. е.

$$E_k = C_4 p = C_5 V \frac{s_k}{d_1^2} = k I \frac{s_k^2}{d_1^4}.$$

Таким образом критический градиент $V_{\text{eff}}/\text{см}$ должен представлять собой в силу принятых допущений прямолинейную зависимость от аргумента $I s_k^2 / d_1^4$. Значительное количество испытаний на отключающую способность дало возможность построить диаграмму (рис. 4), из которой видно, что случаи отказа в работе трубок действительно образуют прямолинейную границу. Эта граница даст значение коэффициента $k = 4$, т. е.

$$E_k \approx 4 I \frac{s_k^2}{d_1^4} V_{\text{eff}}/\text{см}, \quad (4)$$

где I — эффективное значение тока в А; s_k — длина канала в мм; d_1 — диаметр канала в мм.

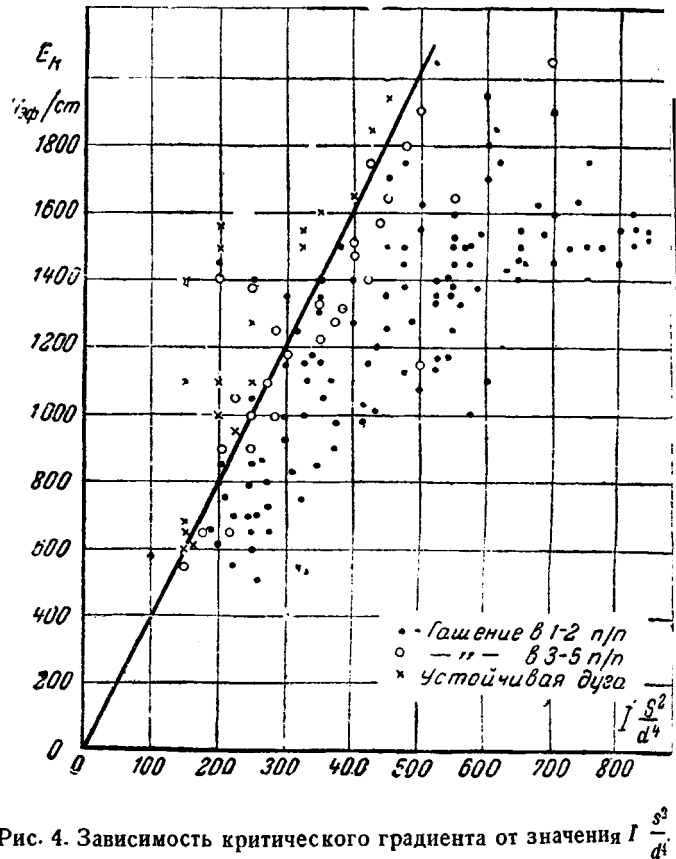


Рис. 4. Зависимость критического градиента от значения $I \frac{s_k^2}{d_1^4}$.

$$E_k = 4 I \frac{s_k^2}{d_1^4} V_{\text{eff}}/\text{см}, \quad I \text{ — эффективное значение силы тока;}$$

s_k — внутренний промежуток в мм; d_1 — диаметр канала в мм.

Выражение (а) можно было бы представить и в другом виде, а именно:

$$E_k \approx 3,14 \cdot \Delta \left(\frac{s_k}{d_1} \right)^2 V_{\text{eff}} / \text{cm}, \quad (b)$$

где Δ — плотность эффективного значения тока в канале в A/mm^2 . Последнее выражение показывает, что при той же плотности тока в канале критический градиент остается постоянным при сохранении соотношения между длиной и диаметром канала.

Неправильно было бы полагать, что критический градиент гашения можно брать сколь угодно высоким, лишь бы выдерживалось равенство а [или (b)], т. е.

$$\frac{F_k}{I \frac{s_k^2}{d_1^4}} \approx 4.$$

Существует максимальный допустимый градиент E_m , при котором какой бы диаметр канала мы ни брали и какой бы ток ни допускали, все равно появятся повторные зажигания вследствие недостаточной электрической прочности внутреннего промежутка после спадения давления в канале. Было установлено, что предельный градиент зависит от величины рабочего напряжения и составляет:

$$\begin{aligned} \text{для } U_n &= 3 \div 10 \text{ kV}, & E_m &= 2000 \text{ V}_{\text{eff}}/\text{cm} \\ \text{, } U_n &= 35 \text{ kV}, & E_m &= 3000 \text{ V}_{\text{eff}}/\text{cm}. \end{aligned}$$

Исходя из необходимости наличия некоторого запаса по градиентам, мы установили следующие величины внутренних промежутков:

$$\begin{aligned} \text{для } U_n &= 3 \text{ kV}; & s_k &= 25 + 2^* \text{ mm}; & E_m &= 1200 \text{ V}_{\text{eff}}/\text{cm} \\ \text{, } U_n &= 6 \text{ kV}; & s_k &= 40 + 2 \text{ mm}; & E_m &= 1500 \text{ V}_{\text{eff}}/\text{cm} \\ \text{, } U_n &= 10 \text{ kV}; & s_k &= 60 + 2 \text{ mm}; & E_m &= 1650 \text{ V}_{\text{eff}}/\text{cm} \\ \text{, } U_n &= 35 \text{ kV}; & s_k &= 150 + 3 \text{ mm}; & E_m &= 2300 \text{ V}_{\text{eff}}/\text{cm}. \end{aligned}$$

Установленные допустимые градиенты для трубок из органического стекла значительно (в $2 \div 2,5$ раза) превосходят критические градиенты для фибровых трубок (по Тороку).

Принятые значения длин каналов для различных напряжений позволяют установить предельные минимальные отключаемые токи для различных диаметров канала (см. табл. 1).

Таблица 1

U_n	d_1	3	4	5	6	7	8	10	12	mm	
3 kV		35	110	250	520	950	1 650	4 000	—		I_{eff} A
6 kV		—	55	125	260	480	820	2 000	4 200		
10 kV		—	—	70	140	270	450	1 100	2 300		
35 kV		—	—	—	35	60	100	250	520		

Для оценки срока службы разрядников весьма значительный интерес представляет определение степени разрабатываемости рабочего канала трубки при повторных срабатываниях.

На рис. 5а представлена зависимость изменения диаметра канала разрядника 6 kV от числа срабатываний при различных токах. На рис. 5б представлена зависимость изменения длины внутреннего промежутка того же разрядника также от числа срабатываний при различных токах. Приведенная зависимость показывает высокую устойчивость разрядников из органического стекла в отношении их многократной работы.

На том же рис. 5 пунктирной линией показана зависимость износа фибровой трубки (при 3000 А) от числа отключений, которая указывает на значительно меньшую устойчивость фибры.

Испытания серии разрядников, предназначенных для промышленного изготовления, показали, что отношение верхнего и нижнего пределов отключаемых токов в этих конструкциях удается получить равным $6 \div 9$, что дает возможность полностью реализовать требующуюся шкалу типов разрядников.

Импульсные характеристики трубчатых разрядников из органического стекла при одинаковых размерах располагаются выше, чем у фибробакелитовых, из-за весьма большого по сравнению с фиброй омического сопротивления трубки. Это объяснение находит свое подтверждение в том, что после

срабатывания разрядника, сопровождающегося созданием на внутренней поверхности органического стекла полупроводящего слоя копоти, импульсные характеристики снижаются на 25—30%.

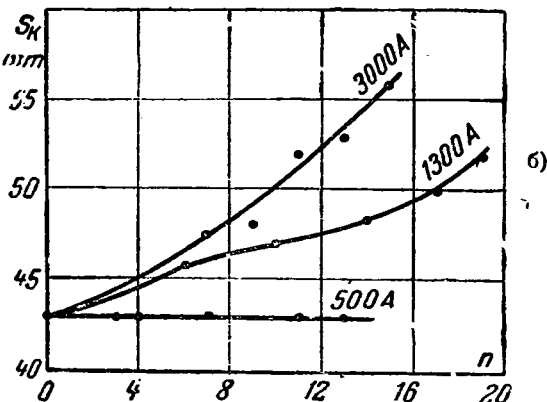
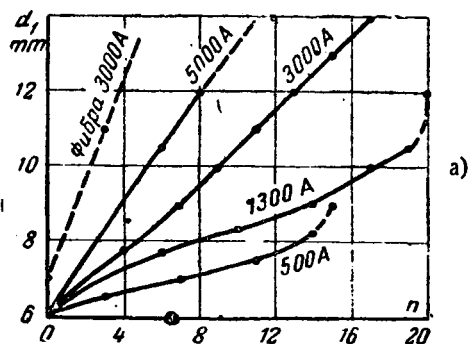


Рис. 5. Зависимость увеличения внутреннего диаметра трубки (рис. 5а) и внутреннего промежутка (рис. 5б) от числа срабатываний.

Благодаря большей по сравнению с фиброй отдаче газов при разложении дугой и получению таким образом более высоких градиентов гашения представляется возможным получить в разрядниках из органического стекла достаточно низкие разрядные напряжения.

Для улучшения защитных характеристик может быть также использован указанный эффект снижения разрядных напряжений при покрытии внутренней поверхности новой трубки полупроводящим слоем.

В некоторых случаях защиты объектов 3, 6 или 10 kV (вращающиеся машины, распределительные трансформаторы старых типов) необходимо применение разрядников с весьма низкими защитными характеристиками.

Для этих целей была предложена² своеобразная конструкция разрядника, изображенная на рис. 6. В этом «разряднике многократного действия» последовательно с внешним промежутком включаются несколько параллельных каналов, высверленных в органическом стекле и на части своей длины переключенных плавкими вставками из тонкой проволоки (0,5 мм в диаметре). Как показали эксперименты, при возникновении пере-

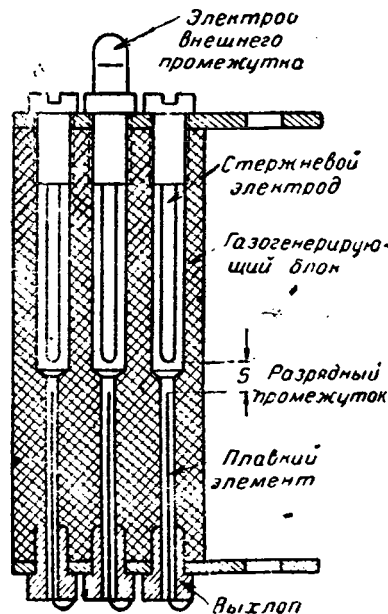


Рис. 6. Схема разрядника многократного действия с пониженным разрядным напряжением.

* Первая цифра означает длину канала s_k , а вторая — зазор между концом электрода и краем канала (рис. 1).

² Ю. В. Буткевич. Технический отчет ВЭИ за 1941 г. (Исследование новых типов трубчатых разрядников).

напряжений и при перекрытии внешнего промежутка пробивается только один из параллельных внутренних промежутков. Разрядник, состоящий из двух блоков, изображенных на рис. 6, может сработать шесть раз без перезарядки, что безусловно достаточно для одного сезона.

Минимальная величина внутреннего промежутка определяется из условий предотвращения ее пробоя восстанавливающимся напряжением при гашении дуги в параллельном канале. Для разрядника на 6 кВ эта минимальная величина менее 10 мм. Отношение верхнего и нижнего пределов отключаемых токов в этих конструкциях очень велико и может составить 15 и более. Несмотря на некоторые осложнения, связанные с необходимостью периодической перезарядки, применение разрядников «многократного действия» в ряде случаев весьма целесообразно благодаря их низким импульсным характеристикам ($32 \div 34$ кВ).

Таблица 2

Тип разрядника	Внешний искровой промежуток	Импульсное разрядное напряжение при волне 1,5/40 мксек				Разрядное напряжение при промышленной частоте в кV _{eff}	
		Минимальное		При 2 мксек		«Сухое»	Под дождем
		+	-	+	-		
Трубчатый разрядник 3 кV	10	40	50	43	53	24	18
То же 6 кV	10	60	60	62	62	39	29
" 10 кV	15	69	69	70	70	43	34
" 35 кV	60	130	145	140	160	78	46
Разрядник многократного действия при внутреннем промежутке 10 мм . . .	10	33	34	36	38	22	—
То же, при промежутке 20 мм . . .	10	45	40	50	45	24	—

В табл. 2 приведены данные лаборатории изоляционных конструкций ВЭИ³ о разрядных напряжениях при импульсах и промышленной частоте для трубчатых разрядников, а также для разрядников «многократного действия» 6 кВ, применительно к конструкциям, изготовляемым на заводе «Энергодеталь». В таблице указаны средние значения при стандартизированных условиях испытаний. Отклонения для отдельных образцов как по импульсным характеристикам, так и по

³ Г. А. Эйдемани. Отчет ВЭИ за 1944 г. (Исследование электрических характеристик разрядников ВЭИ).

разрядным напряжениям при промышленной частоте лежат пределах 10%.

Эксплуатация в течение сезона 1944 г. в сетях Мосэнерго опытной партии разрядников 6 кВ, изготовленных ВЭИ, показала вполне удовлетворительные результаты и в частности подтвердила возможность оставления этих разрядников зимний период. Никаких изменений наружной поверхности трубки обнаружено не было.

Лабораторная проверка, снятых после эксплуатации разрядников показала полную устойчивость их характеристик.

Принятая конструкция разрядников позволяет существенно упростить их монтаж. В качестве иллюстрации установки на рис. 7 показан эскиз крепления разрядника 6 кВ опоре с изоляторами.

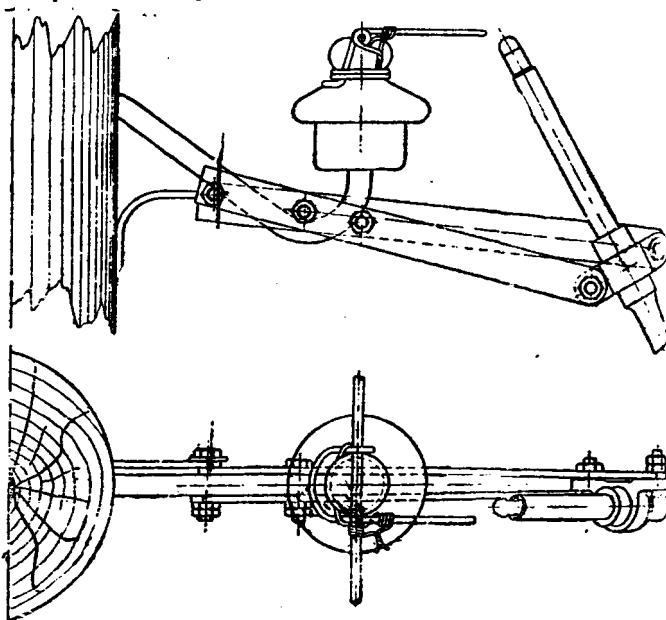


Рис. 7. Пример конструкции установки разрядников 6 кВ на опорах.

Заключение. Разработанные конструкции разрядников органического стекла обладают рядом важных эксплуатационных преимуществ.

Дальнейшие работы в этой области должны вестись в направлении расширения номенклатуры типов разрядников (в частности — для более высоких номинальных напряжений) а также снижения импульсных характеристик разрядников.

В отдельных случаях, где требуется обеспечить высочайшее защитное действие (пониженная изоляция и т. п.), может быть успешно применен разрядник «многократного действия» с пониженным разрядным напряжением (многовольный).

Новые вентильные разрядники

Кандидат техн. наук Л. И. ИВАНОВ и инж. В. П. САВЕЛЬЕВ

Всесоюзный электротехнический институт

Во Всесоюзном электротехническом институте разработан новый тип вентильного материала—вилит и новые конструкции вентильных разрядников. Приводятся описания конструкций и электрические характеристики новых разрядников.

В довоенный период нашей промышленностью были освоены разрядники типов РТНМ и РЗСН, выпускавшиеся заводом «Электроаппарат» на основе кооперации с заводом «Пролетарий». Рабочие сопротивления этих разрядников комплектовались из тиритовых дисков (диаметром 150 мм, $h=20$ мм). Пользуясь специальными сортами карборунда, изготовлявшимися заводом «Ильич», завод «Пролетарий» давал распределение дисков по показателю нелинейности, представленное в табл. 1.

Таблица 1

Распределение тиритовых дисков \varnothing 150 мм по показателю нелинейности α^* на заводе «Пролетарий»

α	Выход в %
0,25 — 0,26	3,8
0,26 — 0,27	10,2
0,27 — 0,29	26,2
0,29 — 0,31	24,8
0,31 — 0,34	30,0
0,34	5,0

* α — показатель степени в вольтамперной характеристике тирита $U = C I^\alpha$.

Допуская сопровождающие токи от 50 до 100 А, завод «Электроаппарат» мог гарантировать остающиеся напряжения на разрядниках РЗСН, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Класс разрядника	3	6	10	20	35	110
Остающееся напряжение на разряднике — kV_{max}	21	37	51	100	140	400
Ток через разрядник — А	1 000	1 000	1 000	1 500	2 000	2 000

Руководящие указания по защите от перенапряжений² требовали от промышленности разрядников с более низкими значениями остающихся напряжений при больших токах. Иностранные фирмы в своих каталогах сообщали значительно лучшие характеристики выпускаемых ими разрядников.

Ограниченность защитного действия разрядников РЗСН по максимальному току наряду с относительно высокими остающимися напряжениями при нормированных амплитудах тока (1 500—3 000 А) являлась одной из причин, побуждавших вести исследовательские работы в направлении поисков новых, более совершенных вентильных материалов. Нелинейный характер электропроводности тирита в основном обусловлен входящим в его состав карборундом и отчасти глиняными прослойками, заполняющими пустоты между отдельными кристаллами карборунда. Нелинейность проводимости карборунда обусловлена существованием на его поверхности так называемого запорного слоя, который по исследованиям Клауса представляет собой тончайшую пленку окиси кремния. Электропроводность тела монокристалла карборунда значительно выше электропроводности его поверхностного запорного слоя. Таким образом в системе множества мелких кристаллов карборунда,

спрессованных при изготовлении диска и удерживаемых в сжатом состоянии усадочными силами обожженной глинистой связки, основная часть приложенного напряжения ложится на запорные слои карборунда. Менее значительная часть напряжения приходится на глинистую связку, и второстепенная при небольших токах часть напряжения падает на тело кристаллов. Задача усовершенствования рабочих сопротивлений разрядников определилась следующими направлениями:

1. Получение карборунда с высокой электропроводностью и высокой степенью нелинейности его вольтамперной характеристики.

2. Изыскание методов связывания порошка карборунда в механически прочную систему, которая обеспечивала бы достаточное сжатие отдельных кристаллов между собой, обладала бы достаточно высокими диэлектрическими свойствами, не вызывала бы старения материала под действием электрической нагрузки, влаги и времени и не разрушала бы запорного слоя карборунда в процессе изготовления сопротивления.

В ВЭИ были поставлены работы по синтезу специального сорта карборунда. В соответствии с современными воззрениями физики на природу проводимости полупроводников было установлено, что вольтамперная характеристика карборунда зависит от примесей и искажений в его кристаллической решетке. Было установлено, что примеси в шихте некоторых окислов металлов следует считать противоположаемыми и что для придания карборунду нужных свойств следует вводить в шихту только определенные загрязнители.

В ВЭИ были проведены работы по изготовлению карборунда для выпуска опытных серий разрядников.

Как указывалось выше, требования к связке в рабочем сопротивлении разрядника весьма многообразны и высоки. Применявшаяся ранее заводом «Пролетарий» технология изготовления тирита на глинистой связке многократно усовершенствовалась, но возможности ее все же оставались ограниченными. Дефектным местом этой технологии является обжиг при 1 150—1 250°C: при этой температуре происходит перерождение поверхностного запорного слоя карборунда, главным образом вследствие реакций карборунда со всевозможными примесями. Работы, посвященные вопросу сохранения исходных свойств запорного слоя карборунда, указали на возможность получения обжигового тирита с показателем нелинейности 0,26—0,27 — ценой значительного усложнения технологии.

Радикальным методом улучшения материала для рабочих сопротивлений разрядников явился отказ от применения глинистой связки и переход к связке на основе растворимого стекла. Сочетание специального сорта карборунда с новой технологией изготовления дисков позволило получить весьма совершенные рабочие сопротивления разрядников. Новый материал получил название «вилит». В табл. 3 приводятся рас-

Таблица 3

α Между 50 и 3 000 А	%
0,15 — 0,16	15,3
0,16 — 0,18	26,6
0,18 — 0,20	34,6
0,20 — 0,22	23,5
0,22 .	0

пределение вилитовых дисков (диаметром 100 мм) по показателю нелинейности α для одной опытной партии.

Как легко видеть из этой таблицы, новый материал обладает значительно более высокой степенью нелинейности по сравнению с тиритом (табл. 1).

¹ По данным за 1940 г.
² Издание 1941 г.

Вольтамперная характеристика вилита, так же как и тирита, только приближенно описывается уравнением $U = C I^x$, но в отличие от последнего значения x уменьшаются с ростом тока.

Свойство весьма медленного приращения напряжения на диске с ростом тока чрезвычайно важно. До некоторой степени оно объясняет высокую импульсную пропускную способность вилита (значения пробивающих градиентов достигаются при весьма больших токах) и успешно используется в разрядниках, сообщая им пологий аллюр вольтамперных и защитных характеристик.

Вилит изменяет свои характеристики при отсыревании. Изменение проявляется в уменьшении пропускной способности и в увеличении напряжений. Поэтому конструкции разрядников с вилитовым рабочим сопротивлением должны быть безусловно герметичными.

Основные свойства новых разрядников. Совершенные вентиляльные свойства вилита обеспечивают высокое защитное действие новых разрядников. Коэффициент защитного действия основных типов новых подстанционных разрядников, т. е. величина отношения

Напряжение, ограничиваемое разрядником
Наибольшее допустимое напряжение фаза — земля

достигает 2,2—2,5.

Большая импульсная пропускная способность вилита сделала возможным сокращение объема рабочего сопротивления и как следствие габаритов и весов разрядников. В новых сериях разрядников применены единичные искровые промежутки с улучшенными импульсными характеристиками. Электрические схемы искровых промежутков новых типов разрядников предельно упрощены. Разрядники составлены из простейших конструктивных элементов. Все конструкции разрядников до 15 кВ освобождены от литой арматуры и громоздкого фарфора и составляют почти исключительно из штампованных деталей. Разрядники этой серии могут подвешиваться прямо к проводу или укрепляться на столбах. Вследствие высоких защитных свойств новые разрядники в состоянии обеспечить защиту подстанционного оборудования в условиях значительно более упрощенных и удешевленных схем, чем это требовалось существовавшими до сих пор нормами «Руководящих указаний».

Серия подстанционных разрядников 3—15 кВ. Подстанционные разрядники до 15 кВ комплектуются из дисков диаметром 75 мм. По боковой поверхности диск покрывается изолирующей керамической замазкой, торцевые поверхности металлизированы. Единичный искровой промежуток состоит из двух латунных электродов, разделенных миканитовой прокладкой. Разрез единичного промежутка показан на рис. 1.

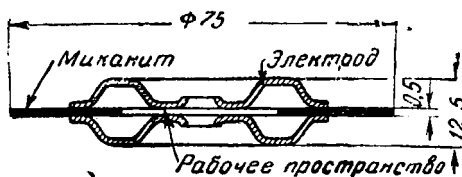


Рис. 1. Единичный искровой промежуток.

Тщательными исследованиями импульсных свойств установлены рациональные формы и размеры электродов и миканитовой прокладки³. Для принятой формы единичного промежутка коэффициент импульса при предразрядном времени свыше 0,2 мс не превосходит 1,1. На рис. 2 показан разрез общего вида разрядника 6 кВ. Разрядник состоит из комплекта дисков и единичных промежутков, фарфорового чехла и простейшей арматуры.

Фарфоровый чехол разрядника представляет собой одно целое с куполообразной крышечкой и нижним отверстием для закладывания и фиксирования деталей. В верхней крышечке имеется отверстие для ввода. В нижней части чехла, внутри, сделана специальная выточка для закладывания спиральной пружины, являющейся стопором внутренней диафрагмы. Наружная диафрагма притягивается болтом к внутренней и прижимает резиновую уплотняющую прокладку к выступам в стенках фарфора. Пространство над нижней диафрагмой, под ней и у верхнего ввода заливается специальным компаундом.

³ Л. И. Иванов, Вентильные разрядники, Сборник ВЭИ, 1941.

Разрядник снабжается хомутом для крепления и может подвешиваться к проводу за ушко у верхнего вывода. В разрядниках 3, 6 и 10 кВ равны соответственно 8, 10 и 15 кг, составляя около 45% от веса прежних разрядников «Электроаппарата». Внешний вид серии разрядников 10, 6 и 0,5 кВ показан на рис. 3.

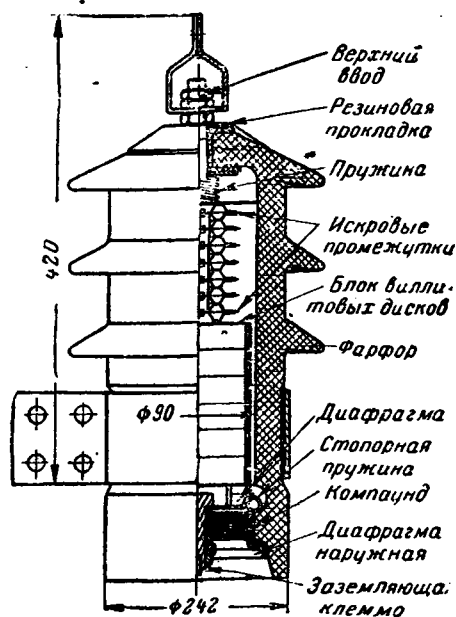


Рис. 2. Подстанционный разрядник 6 кВ.

Характеристики защитного действия разрядников по искровой промежутку и по вольтамперной характеристике приведены на рис. 4 и 5. На кривых приведены максимальные значения (средние значения — ниже на 10—15%). Коэффициент защитного действия по искровому промежутку — порядка 2,7 при предразрядном времени свини 1 мс. При 0,5 мс он возрастает до 3. На рис. 6 приведено защитное действие по вольтамперной характеристике в диапазоне от 1 000 до 10 000 А. Коэффициент защитного действия в этом диапазоне изменяется от 2,4 до 3,2 (максимальные значения).

Основные электрические характеристики разрядников приведены в табл. 4.

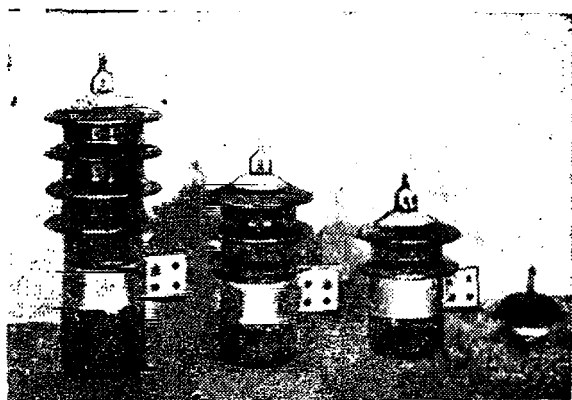


Рис. 3. Внешний вид серии подстанционных разрядников 10, 6 и 0,5 кВ.

Пропускная способность вилита по отношению к импульсным токам в 5—10 раз больше пропускной способности тирита. При токе промышленной частоты пропускная способность вилита ниже, чем у тирита.

В разработанной серии новых разрядников сопровождающие токи выбраны 30 и 50 А на диски диаметром 75 и 100 мм соответственно.

Номинальное напряжение, кV eff	Наибольшее допустимое напряжение фазы-земля не более, кV eff	Пробивное напряжение промышленной частоты не менее, кV eff	Минимальное импульсное пробивное напряжение при волне 1,5/40 мкс не более, кV	Импульсное пробивное напряжение при времени разряда более 1 мкс не более, кV	Импульсное пробивное напряжение при времени разряда более 0,5 мкс не более	Напряжение на дисках				Сопровождающий ток разрядника, А max	Примечание
						при 1 500 А не более, кV	При 3 000 А не более, кV	При 5 000 А не более, кV	При 10 000 А не более, кV		
3	3,8	8,5	25	25	30	14	17	19,5	23	30	Характеристики вновь разрабатываемых конструкций разрядников 15, 20, 154 и 220 кV приняты условными.
6	7,6	16	35	35	42	26	30	32	35	30	
10	12,8	25	50	50	60	46	50	53	58	30	
15	19	37	70	70	84	69	75	79	86	30	
20	25	45	85	85	104	—	78	85	97	50	
35	42	75	130	130	130	—	130	142	162	50	
110	100	225	375	375	—	—	350	371	407	50	
154	145	315	520	580	—	—	505	537	590	50	
220	195	445	720	800	—	—	720	760	840	50	

Серия подстанционных разрядников 20—35—110 кV. Разрядники этих напряжений рассчитаны на большие импульсные токи и комплектуются из дисков диаметром 100 мм. Необходимость выравнять распределение напряжения по единичным промежуткам в этих типах разрядников требует принятия специальных мер. Простой набор последовательно со-

пряжение восстанавливается по синусоиде, оно равномерно распределяется между всеми промежутками, и ток гасится после первого прохождения через нуль. Искровые промежутки вместе с дисками располагаются в специальных фарфоровых чехлах диаметром 130 мм. Разрядники имеют однократное уплотнение обычного типа, из озоностойкой резины.

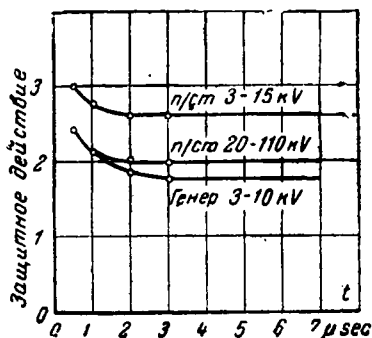


Рис. 4. Защитное действие подстанционных и генераторных разрядников.

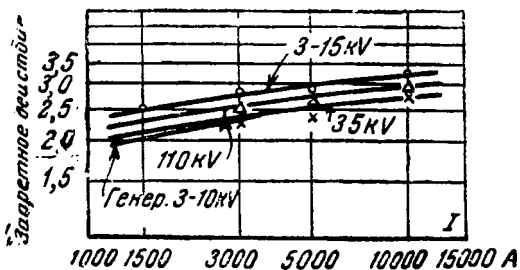
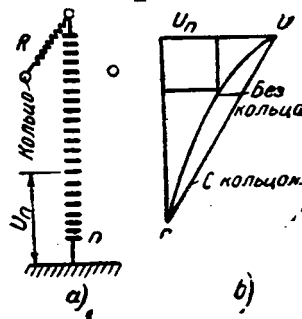


Рис. 5. Защитное действие подстанционных и генераторных разрядников.

единичных промежутков здесь уже недостаточен. Как известно, в прежних разрядниках «Электроаппарата» для выравнивания распределения напряжения применялись шунтирующие сопротивления, включавшиеся параллельно каждому 4 единичным промежуткам. В новых разрядниках применено значительно более простое устройство. На рис. 6а показана принципиальная схема искрового промежутка разрядника 35 кV. Разрядник снабжается экранирующим кольцом, подключаемым через высокоомное сопротивление к верхнему полюсу. Кольцо усиливает емкостную связь верхних промежутков с линией, благодаря чему выравнивается распределение напряжения (рис. 6б). Вследствие малой проводимости сопротивления его влияние при импульсах минимально. Такое устройство сообщает разряднику характеристику пробивного напряжения, селективную по отношению к импульсу. Импульсное пробивное напряжение ниже чем 50-перiodное. В момент гашения дуги сопровождающего тока, когда обычно на-

Рис. 6а. Принципиальная схема искрового промежутка разрядника 35 кV.

Рис. 6б. Распределение напряжения по промежутку с экранирующим кольцом.



Экранирующее кольцо из металлической трубы подвешивается к верхней арматуре на трубках из органического стекла. Внутри одной из трубок находится комплект из двух высокоомных шунтирующих сопротивлений суммарной величины порядка 10 МΩ (изм. при 1 000 V). Такая конструкция во много раз проще прежней конструкции завода «Электроаппарат», где, например, для того же разрядника 35 кV необходимо было 40 шт. сопротивлений, требовавших для своего размещения специальной сложной конструкции фарфоровых элементов. Защитное действие серии разрядников 20—35—110 кV приведено на тех же рис. 4 и 5.

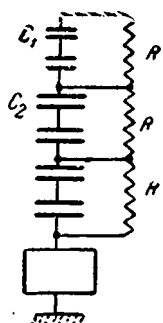
По искровому промежутку защитное действие находится в пределах 2,0—2,4, при предразрядных временах свыше 0,5 мкс. По вольтамперной характеристике защитное действие наиболее высокое у разрядника 35 кV. При нормальном токе 3 000 А оно составляет 2,2. У разрядника 110 кV оно более низкое, порядка 2,5.

Подробные электрические характеристики разрядников приведены в табл. 4.

Специальные разрядники для защиты вращающихся машин 3—10 кV. От обычных подстанционных разрядников эти разрядники должны отличаться значительно более высоким защитным действием — и по характеристике искрового промежутка и по вольтамперной характеристике. Для получения низких импульсных пробивных напряжений разработана оригинальная схема промежутка, принцип которой показан на рис. 7 (для разрядника 6 кV). Искровой промежуток составляется из единичных промежутков двух типов: с нормальной и с увеличенной емкостями C_1 и C_2 . Нормальные промежутки — обычные (те же, что у подстанционных разрядников). Промежутки с увеличенной емкостью C_2 имеют micaптовые шайбы, оклеенные тонким слоем алюминия. Емкость нормального промежутка 30—40 ст; увеличенная емкость — 80—100 ст. Каждая пара промежутков (у 6-кV разрядника — пара нормальных и две пары с увеличенной емкостью) шунтируется одинаковыми комплектами высокоомных карборундовых сопротивлений R-

* В. П. Савельев. Вентильные разрядники. Сборник ВЭИ, 1941.

При промышленной частоте напряжение по промежуткам выравнивается сопротивлениями R . При импульсах напряжение распределяется по емкостям C_1 и C_2 , пробой промежутка происходит каскадно, и коэффициент импульса разрядников оказывается порядка 0,8—1.



Единичные промежутки заключены в бакелитовый цилиндр, по наружной боковой поверхности которого располагаются шунтирующие сопротивления. Рабочее сопротивление разрядника комплектуется из лучших виловых дисков диаметром 100 мм. Искровой промежуток и диски заключены в фарфоровый чехол, по конструкции аналогичный подстанционным разрядникам 3—15 kV, но соответственно большего размера.

Рис. 7. Принципиальная схема искрового промежутка генераторного разрядника 6 kV.

Характеристики защитного действия искрового промежутка приведены на рис. 4. У этих разрядников защитное действие наиболее высокое в сравнении с остальными, порядка 1,7—2,4, при предразрядных временах более 0,5 мкс. Защитное действие по вольтамперной характеристике показано на рис. 5.

Разрядники для защиты вращающихся машин и аппаратуры низкого напряжения. Для защиты генераторов двигателей и аппаратуры сетей низкого напряжения 127—500 V специальный разрядник в СССР разработан впервые⁵. Общий вид разрядника в разрезе показан на рис. 8. Разрядник состоит из одного диска диаметром 75 мм, уменьшенного по высоте до 10 мм, и одного искрового промежутка обычной формы. Искровой промежуток вместе с диском находится в пластмассовом разборном чехле, свинчиваемом из дна и крышки. Соответственно минимальному уровню изоляции низковольтных машин и аппаратуры напряжение, ограничиваемое искровым промежутком разрядника, не превосходит 2—3 kV. Ввиду чрезвычайно благоприятных условий гашения дуги сопровождающего тока в сети низкого напряжения диск разрядника может быть взят с низким остаточным напряжением. Наибольший сопровождающий ток разрядника—20 A_{max} (при 500 V); при 1 500 A — остаточное напряжение порядка

⁵ В. П. Савельев, Разрядник для защиты сетей низкого напряжения. Технический отчет МЭИ, 1941.

1 800 V, и защитное действие обеспечивается поэтому импульсных токах до 10—20 kA.

Испытания разрядников. Перед выпуском с завода для собранного разрядника подвергается тщательным и рольным испытаниям. Проводятся следующие испытания: 1) измерение пробивного напряжения при промышленной частоте; 2) измерение тока утечки; 3) контроль герметичности

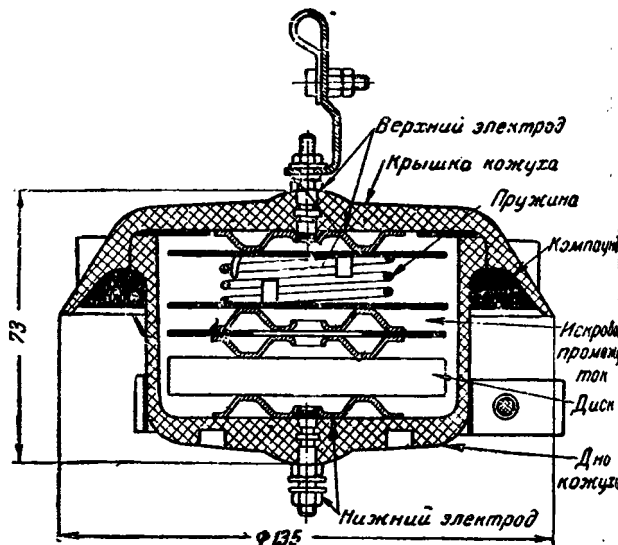


Рис. 8. Разрядник низкого напряжения.

Кроме того генераторные разрядники проходят цикл импульсных испытаний для контроля импульсного пробивного напряжения искровых промежутков.

Заключение. Проектирование вентильных разрядников проведенное на основе результатов исследовательских работ ВЭИ за последние годы, закончилось разработкой новой серии разрядников. Опытные экземпляры разрядников изготовлены в ВЭИ. На заводе «Пролетарий» в настоящее время организован производственный выпуск новых разрядников.

Применение нового вентильного материала *вилит* позволило достигнуть высокой степени защитного действия разрядников при одновременном сокращении их габаритов и веса.

Нелинейные виловые сопротивления для разрядников

Кандидат физико-матем. наук В. И. ПРУЖИНИНА-ГРАНОВСКАЯ

Всесоюзный электротехнический институт

Новый материал для рабочих сопротивлений вентильных разрядников — вилит — обладает значительно большей нелинейностью, чем тирит, вследствие чего защитное действие вилитовых разрядников существенно улучшено. Описаны электрические свойства вилита: нелинейность, пропускная способность по отношению к импульсным токам и токам промышленной частоты и старение вилита.

Защитное действие разрядников, рабочим сопротивлением которых служил тирит, не удовлетворяло электропромышленность вследствие недостаточной нелинейности вольтамперной характеристики тирита. Константа нелинейности α^* тирита, измеренная в диапазоне токов 50—1 000 A, колебалась в пределах 0,28—0,32. Диски с константами α , равными 0,26—0,28, составляли лишь небольшой процент продукции завода-изготовителя.

Между тем, для того чтобы защитное действие разрядников было не ниже уровня, достигнутого зарубежными фирмами, нужно пользоваться сопротивлениями, константа нели-

* α — показатель степени в вольтамперной характеристике тирита $U = C I^\alpha$.

нейности которых составляет не более 0,18—0,22. Если учесть кроме того, что константа нелинейности тирита с увеличением плотности тока увеличивается, то станет очевидным, что пути усовершенствования отечественных разрядников надо было искать в направлении радикального изменения свойств нелинейных рабочих сопротивлений.

Нелинейность кристаллов карборунда значительно выше нелинейности тирита. Однако в разных стадиях технологического процесса карборунд теряет значительную долю своей нелинейности. Нелинейность теряется преимущественно в процессе высокотемпературного обжига, где происходит взаимодействие связки с запорным слоем карборунда.

Разработанный нами новый материал — вилит — не проходит стадии высокотемпературного обжига и поэтому не

вступает во взаимодействие с веществами, искажающими защитный слой. Вследствие этого в материале вилит мы имеем почти такую же степень нелинейности, какой обладает карборунд. С помощью гранулометрического состава карборунда можно широко управлять и электропроводностью и нелинейностью вилита. Предельные значения этих величин определяются данным сортом карборунда. Таким образом из материала вилит можно изготовлять сопротивления, различные по свойствам и по габаритам.

Применение карборунда ВЭИ в материале типа вилит дает возможность получить такие сопротивления для вентильных разрядников 3—110 кВ, нелинейность и пропускная способность которых позволили значительно повысить защитный уровень наших разрядников, упростить их конструкцию и уменьшить веса и габариты.

Вилитовые сопротивления для подстанционных разрядников на 3—6—10 кВ изготавливаются в виде дисков диаметром 75, высотой 20 мм. Сопротивления для генераторных разрядников и для подстанционных разрядников на 35, 110 и 220 кВ представляют собой диски диаметром 100 мм, высотой 20 мм.

По боковой поверхности диски покрыты белой эмалью неорганического состава, защищающей их от перекрытий по поверхности. Торцевые части дисков металлизированы алюминием.

Вольтамперная характеристика вилита имеет петлевидный характер. Ширина петли увеличивается по мере увеличения силы тока. Для тока порядка 30—50 А петля отсутствует. Осциллограмма¹ вольтамперной характеристики вилита представлена на рис. 1.

шным напряжением каждый элементарный контакт работает на более крутой части вольтамперной характеристики, нелинейность диска будет увеличенной.

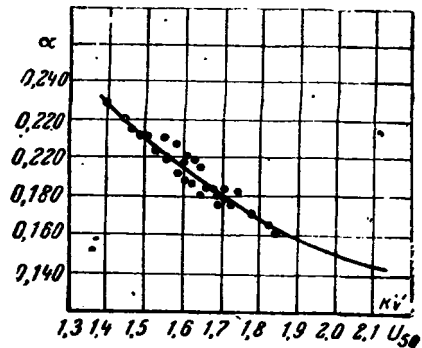


Рис. 2. Зависимость константы нелинейности α от сопротивления диска, характеризуемого напряжением при токе 50 А.

Поведение вольтамперной характеристики вилита можно охарактеризовать зависимостью α от силы тока, если вычислять α в диапазоне токов от сопровождающего до исследуемого. Эти данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сила тока А через диск диаметром 100 мм	Вилит			Тирит	
	$\alpha_{50 \div I}$			Сила тока А через диск диаметром 150 мм	$\alpha_{50 \div I}$
	диск 1	2	3		
2 620	0,188	0,200	0,226	1 000	0,284
4 280	0,178	0,173	0,212	1 500	0,288
7 880	0,163	0,157	0,200	3 000	0,293
15 900	0,149	0,142	0,130	3 930	0,296
18 950	0,149	0,138	0,184		

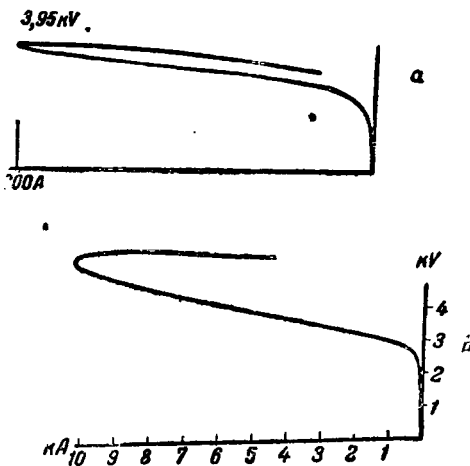


Рис. 1. Осциллограммы вольтамперной характеристики вилита.
а — ток 800 А; б — ток 10 000 А.

Константа нелинейности α вилита определяется в диапазоне токов 30—3 000 А для дисков диаметром 75 мм и 50—3 000 А для дисков диаметром 100 мм. Значения 30 и 50 А являются величинами сопровождающих токов для дисков данных габаритов. Величина 3 000 А выбрана потому, что у разрядников нормируются напряжения при токе 3 000 А. Напряжения U_{3000} и $U_{30,50}$ определяются на катодном осциллографе методом визуального отсчета. Методику измерений см. (Л. 1).

Нелинейность вилитовых дисков в диапазоне токов 30—3 000 или 50—3 000 колеблется от $\alpha = 0,16$ до $\alpha = 0,23$. Наибольший процент выхода падает на диски, обладающие значениями α 0,18—0,22. Соотношение между нелинейностью и электропроводностью дисков иллюстрирует рис. 2. По оси абсцисс отложено напряжение U_{30} , по оси ординат — соответствующее значение $\alpha_{30,10-0,5}$. Мы видим, что с увеличением сопротивления материала нелинейность его возрастает. Причина этого кроется в следующем. При заданном токе напряжение на диске с большим сопротивлением будет выше, чем на диске с меньшим сопротивлением. Поэтому при том же гранулометрическом составе градиент напряжения на элементарном контакте будет больше у диска с повышенным сопротивлением. Нелинейность вольтамперной характеристики кристалла карборунда является функцией градиента напряжения на нем. С увеличением последнего нелинейность возрастает (Л. 2). Следовательно, поскольку у дисков с повы-

Для сравнения в последних двух колонках приведены соответствующие значения для α тирита (Л. 3). Мы видим, что в отличие от тирита, у которого α с увеличением амплитуды импульса возрастает, α вилита уменьшается. Таким образом при возрастании перенапряжения остаточное напряжение на разряднике с вилитовыми сопротивлениями будет возрастать медленнее, чем это следует из расчета, сделанного на основе значений α , даваемых в диапазоне токов 50—3 000 А.

Пропускная способность вилита. Токовая пропускная способность вилита, т. е. та максимальная сила тока, которую диск может выдержать без повреждений, не может быть определена однозначно. У вилита, как у полупроводникового материала, температурный коэффициент сопротивления — отрицательный. Вследствие этого при больших количествах выделяющейся энергии (обусловленных или величиной тока или длительностью его протекания), не компенсированных теплоотдачей, начнется непрерывное возрастание тока с последующим тепловым пробоем (Л. 4). Поэтому для рабочих сопротивлений разрядника различают пропускную способность — по отношению к импульсным токам и пропускную способность — по отношению к токам промышленной частоты. Длительность первых — десятки и сотни микросекунд, длительность вторых — сотые доли секунды.

Пробивное напряжение вилита, т. е. та критическая величина напряжения, при которой произойдет пробой диска даже при чрезвычайно коротком воздействии напряжения, нами не определялась. Несомненно, что пробивное напряжение является функцией технологии изготовления (градиента на элементарном контакте и пр.). Для вилита, используемого в разрядниках 3—6—10—35—110 кВ, приближенная оценка величины пробивного напряжения дает значение около 8 кВ на диск, т. е. около 4,0 кВ/см.

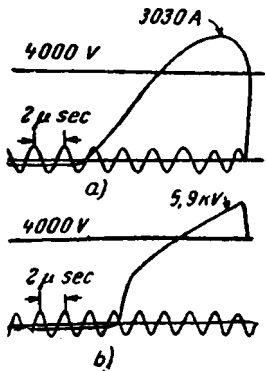
Импульсная пропускная способность в основном зависит от амплитуды импульсного тока, его длительности и электропроводности материала диска. Осциллограмма импульсной волны представлена на рис. 3. Длительность ее оценена промежутком времени, в течение которого величина волны, нарастая от нуля и пройдя через максимум, уменьшится до половины амплитудного значения.

¹ Приведенные осциллограммы получены Л. И. Ивановым.

Импульсная пропускная способность вилита очень велика. Поэтому получение таких токов, при которых имел бы место пробой диска на первом-втором импульсе, затруднительно. Вследствие этого импульсная пропускная способность дисков была охарактеризована тем количеством импульсов с заданными параметрами, которые диск выдерживает до пробоя. Для того чтобы исключить эффекты, вызываемые нагревом сопротивления, диск подвергался последовательному действию только пяти импульсов. После этого он охлаждался и вновь нагружался пятью импульсами и т. д.

Очевидно, что пропускная способность у дисков с большой электропроводностью должна быть выше, чем у дисков с малой электропроводностью. Это обусловлено тем, что у дисков с большой электропроводностью критическая величина пробивного напряжения достигается при значительно большем токе, чем у дисков, обладающих малой электропроводностью.

Рис. 3. Осциллограммы тока *a* и напряжения *b* на вилитовом диске диаметром 25 мм.



Результаты исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Амплитуда на диск диаметром 75 А	Амплитуда на диск диаметром 100 А	τ μ sec	Нормальные диски		Диски с пов. сопр.	
			$U_{30\%}$ кV	Сред. число импульсов, кот. диск выдержив.	$U_{30\%}$ кV	Сред. число импульсов, кот. диск выдержив.
27 400	48 000	7,5	1,41—2,27	31	2,48—2,72	8
27 400	48 000	12	1,41—2,27	22	2,48—2,72	7
1 010	1 800	44	1,41—2,27	383	2,48—2,72	114
1 010	1 800	8	1,41—2,27	89	2,48—2,72	24

Из таблицы следует, что диски диаметром 75 мм выдерживают несколько десятков импульсов с амплитудой около 30 000 А при длительности волны 7—12 μ sec. Более длительные импульсы (44—85 μ sec), но с значительно меньшей амплитудой, диски выдерживают значительно дольше. Однако с увеличением длительности воздействия импульса прочность диска довольно быстро уменьшается.

Прочность диска с повышенным сопротивлением существенно ниже прочности нормальных дисков.

Чрезвычайно важно знать, предшествует ли пробой дисков какой-либо процесс, сопровождающийся резким изменением их свойств. Для выяснения этого были измерены напряжения на дисках после каждых пяти импульсов. Оказалось, что примерно в 50% случаев имеет место некоторое снижение напряжений, возникающее еще за 10—15 импульсов до пробоя. Это снижение постепенно увеличивается, достигая иногда 10—13%. Но наряду с этим в остальных 50% случаев за несколько импульсов до пробоя уменьшения напряжений не наблюдалось.

Наиболее типичные случаи представлены в табл. 3.

Таблица 3

Уменьшение напряжения в %	Число импульсов						
	5	10	15	20	25	30	35
Диск № 1	0	0	0	0	0	0	Пробой
№ 2	0	0	0	0	-2,3	-5,5	Пробой
№ 3	0	-3,1	-6,8	-9,3	-12,8		Пробой на 32 импульсе

Вероятно в ряде случаев имеет место неполный пробой, проявляющийся в снижении сопротивления диска. Под действием последующих ударов процесс этот накапливается и усугубляется, приводя к полному пробоя.

Пропускная способность дисков по отношению к промышленной частоте охарактеризована числом полупериодов, которые диск выдерживает при непрерывном действии напряжения. Пробой в данном случае является тепловым поэтому зависит от условий теплоотдачи. Исследование симости $I=f(\tau)$ было проведено в условиях естественной теплоотдачи, т. е. когда диск охлаждался только под действием разности температур между ним и окружающей средой. Результаты испытаний представлены в табл. 4, где дано минимальное и максимальное число полупериодов, которое выдерживали диски при заданном токе.

Табл. 4

$I_{amp. max}$	Число полупериодов, которые выдержали диски		Примечание
	Минимальное	Максимальное	
148	1	6	Диски диаметром 100 мм
182	0	1	» » 75 мм
162	0	1	» » 75 мм
94—88	0	5	» » 75 мм
10—86	0	7	» » 75 мм
59—70	3	8	» » 75 мм
34—51	4	4	Измерены диски диаметром 25 и сделан пересчет на диски диаметром 75 мм
63—99	1	5	

Группа дисков диаметром 75 мм нагружалась током 30 А в течение 7—8 полупериодов. Пробой при этом не был. Как следует из табл. 3, токи порядка 60 А, диски диаметром 75 мм выдерживают не менее чем 3 полупериода. Токи порядка 100 А зачастую пробивают диск на первом полупериоде. Токи порядка 150 А, диск диаметром 75 мм практически не выдерживает. Диски диаметром 100 мм выдерживают токи порядка 100—150 А не меньше чем один период.

Старение вилита. Связующим веществом вилитовых дисков является жидкое стекло. Наряду с большими долями жидкого стекла как связка, богатая ионами, выделяет некоторую нестабильность электрических свойств так называемое старение вилита.

Причиной старения является ионная проводимость слоя жидкого стекла, находящейся между зернами кварца. При импульсах одной полярности ионы щелочных металлов мигрируют от анода к катоду, отчасти разряжаются, а отчасти образуют у катода вокруг соответствующего зерна кварца слой положительно заряженных ионов. Поле этого слоя будет препятствовать движению других ионов, направляющихся к катоду. Сопротивление таким образом возрастает. При перемене полярности импульса слой положительных ионов окажется у анода и вновь начинает перемещаться к катоду. Противоэлектродвижущая сила у нового катода опять-таки проявится в увеличении сопротивления диска. Вследствие медленного (за счет диффузии) рассасывания заряда после снятия напряжения сопротивление диска при следующем токе, действующем после большого тока, будет повышенным, причем относительное изменение U_{30} или U_{50} будет больше, чем U при больших токах.

В качестве количественной меры эффекта старения будем берем величину

$$\frac{\Delta U_{4500}}{U_{4500}} = \frac{(U_{4500})_{конечное} - (U_{4500})_{начальное}}{(U_{4500})_{начальное}}$$

или величину $\frac{\Delta U_{30}}{U_{30}}$, выраженную в процентах. С ее помощью мы можем проследить поведение эффекта старения в функции нагрузки, влажности и времени.

Старение от нагрузки определялось следующим образом. На диск подавалось последовательно пять импульсов определенной амплитуды и длительности и регистрировалось последнее импульса. Кроме того фиксировалось U_{30} и U_{50} диска после действия пятого импульса большой амплитуды. Во избежание нагрева следующих пятью импульсами диск нагружался через несколько часов, чаще через сутки и более. От измерения к измерению диски хранились в открытом сосуде с осушителем. Было выявлено, что сопротивление дисков систематически возрастает, стремясь к некоторому пределу. При этом увеличение $\frac{\Delta U_{4500}}{U_{4500}}$ после действия

100 импульсов не превышает 10%. Изменение U_{30} — значительнее (15—20%), но это, как уже было указано, скорее явление положительное, чем отрицательное. Указанное возможное 10% увеличение напряжений после длительной работы диска должно быть принято во внимание при конструировании аппаратов.

Старение от времени, если диски хранятся в сухой атмосфере (с осушителем), у виолита не наблюдается. Колебание напряжений U_{30} и U_{4500} в ту и другую сторону у 30 измеренных дисков лежит в пределах ошибок измерений (среднее значение отклонения составляет около —1%).

Диски, хранящиеся в комнатных условиях при произвольной влажности, старятся. Например, после 54-дневного хранения среднее увеличение U_{4500} составило около 5%.

Влажные диски под действием импульсной нагрузки обнаруживают интенсивное старение. Чем влажнее диск, тем интенсивнее эффект старения. Поэтому диски могут работать только в герметизованной конструкции.

Вольтамперная характеристика дисков, подвергшихся увлажнению, может быть восстановлена тщательной сушкой при температуре 120—150°C в продолжение не менее 6 ч. Явление старения является функцией технологии. Указанное 10% изменение U после 100-кратной нагрузки импульсом одной и

той же полярности относится к оптимальной разработанной нами технологии изготовления дисков. При произвольной технологии явление старения может количественно сильно измениться.

Вилитовые сопротивления как нелинейные сопротивления могут применяться для защиты от перенапряжений в различных аппаратах. Их габариты меняются в соответствии с диапазоном токов и напряжений, в которых должны работать сопротивления.

В зависимости от требований могут быть получены разнообразные значения α от 0,16 до 0,60.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Иванов и А. С. Нуждина. Вентильные разрядники. Под общей редакцией проф. Л. И. Сиротинского. Госэнергоиздат, 1941.
2. В. И. Пружинина. Изучение физики явлений, определяющих вентильность карборунда. Отчет ВЭИ, 1941. Hellingert. Ann. d. Phys., 245, 28, 1937.
3. Л. И. Иванов. Вольтамперная характеристика тириста в различных областях нагрузок. Отчет ВЭИ, 1939.
4. Fock, Arch., f. El., N. 19, стр. 71, 1927.

Газогенерирующий разъединитель мощности¹

Инж. А. М. БРОНШТЕЙН

Всесоюзный электротехнический институт

Исследованием дугогасительной способности цилиндрических газогенерирующих каналов установлена возможность гашения в них малых токов и токов в несколько сот ампер. На основе экспериментов получена возможность выбора оптимальных параметров газогенерирующего дугогасительного устройства. Разработана и принята к производству оригинальная конструкция разъединителя мощности на 6—10 кВ с номинальным отключаемым током 200 А.

В большинстве коммутационных схем высоковольтных установок преобладающее количество операций, производимых высоковольтными выключателями, приходится на отключение нормальных токов нагрузки, обычно не превышающих несколько десятков и лишь в немногих случаях — несколько сот ампер. Между тем высоковольтные выключатели рассчитаны главным образом на отключение токов короткого замыкания, достигающих в современных потребительских и распределительных сетях нескольких десятков тысяч ампер, что приводит к значительному усложнению конструкции выключателей и к удорожанию их стоимости. Это, естественно, привело к мысли о распределении функций высоковольтного выключателя, заключающихся в коммутации при нормальной нагрузке и в защите сети от токов короткого замыкания, между двумя аппаратами, каждый из которых был бы приспособлен к выполнению только одной из этих функций. Такой комбинацией двух более простых аппаратов, могущих заменить мощные высоковольтные выключатели, является применение разъединителя мощности совместно с мощными плавкими высоковольтными предохранителями.

Европейские фирмы уже более двух десятков лет занимаются разработкой и изготовлением разъединителей мощности, эти аппараты нашли довольно широкое применение пока главным образом в мелких электроустановках, в сельском хозяйстве, на торфо- и лесоразработках и т. д. В последние годы разъединители мощности начинают широко распространяться в США, где за годы войны построено много заводов, применяющих в своих распределительных сетях исключительно разъединители мощности и высоковольтные предохранители.

Из многочисленных конструкций разъединителей мощности наибольшее распространение получали автопневматический и газогенерирующий разъединители мощности.

В автопневматическом разъединителе мощности гашение дуги производится потоком воздуха, создаваемым специальным поршнем за счет силы упругости

пружин, заводимых обычно при включении разъединителя. Недостатком конструкции является относительная сложность и дороговизна.

В газогенерирующем разъединителе мощности гашение дуги достигается растяжением последней в канале из специального газогенерирующего материала, разлагаемого под воздействием температуры дуги с выделением большого количества газа, потоки которого и вызывают гашение дуги.

Газогенерирующий разъединитель мощности по своей конструкции проще автопневматического и дешевле его. Его главным недостатком является необходимость смены газогенерирующих деталей после определенного количества отключений.

При разработке разъединителя мощности отечественной конструкции мы остановились на газогенерирующем разъединителе мощности, как наиболее простом в конструктивном отношении. Примененный нами газогенерирующий материал (органическое стекло) по своим дугогасительным свойствам и устойчивости превосходит материалы, применяемые зарубежными фирмами, и обеспечивает довольно большое количество отключений, вполне приемлемое с точки зрения эксплуатации.

Гашение дуги в цилиндрическом газогенерирующем канале. Процесс гашения дуги в газогенерирующем дугогасительном устройстве по настоящее время исследован весьма мало. Известно было только в общих чертах, что дугогасительная способность того или иного газогенерирующего устройства зависит от геометрических размеров дугогасительного канала. Чем больше диаметр канала, тем труднее происходит в нем гашение малых токов, так как температурное воздействие столба дуги на стенки канала недостаточно для выделения из них нужного количества газа, способного обеспечить гашение дуги. С другой стороны, чрезмерное уменьшение сечения дугогасительного канала при гашении в нем больших токов приводит к резкому повышению давления в канале и зачастую к разрыву дугогасительной камеры. Поэтому, прежде чем приступить к разработке и конструированию газогенерирующего дугогасительного устройства разъ-

¹ Настоящая работа проводилась при участии инж. конструктора Г. С. Пузырьского и инж. Н. Е. Гилодо.

единителя мощности, нами было проведено исследование процесса гашения дуги в простой газогенерирующей цилиндрической трубке из органического стекла.

Исследование производилось на специальном макете, который состоял в основном из газогенерирующей трубки, закрепленной в головке. Последняя служила неподвижным контактом. Подвижным контактом служил латунный стержень, диаметр которого соответствовал диаметру канала испытуемой газогенерирующей трубки. Объем головки, в которой закреплялась газогенерирующая трубка, мог либо свободно сообщаться с атмосферой, и в этом случае выделяющиеся газы могли свободно вытекать через верх трубки (верх открыт); либо объем головки герметически закрывался, и в этом случае выделяющиеся газы собирались в этом объеме, повышая давление в зоне горения дуги (верх закрыт). Давление в головке записывалось на осциллограмме при помощи специальных электромагнитных приборов. На этом макете производилось в газогенерирующих трубках диаметром от 6 до 12 мм отключение токов различной силы.

В процессе отключения производилось осциллографирование тока, восстанавливающегося напряжения, а также хода контактов. Кроме этого по специальной схеме измерялось напряжение в зоне горения дуги. Проведенные исследования дали возможность установить связь между гасимым током, диаметром канала и получающимся при этом критическим градиентом напряжения, обеспечивающим гашение дуги.

Зависимость критических градиентов гашения в kV_{eff} от эффективного значения силы тока при различных диаметрах газогенерирующих каналов дана на рис. 1. Как видно из рассмотрения приведенных кривых, критические градиенты гашения тем больше, чем меньше диаметр газогенерирующего канала; с увеличением тока критические градиенты увеличиваются, и, наконец, при одних и тех же условиях критические градиенты гашения выше у трубок с затрудненным выходом газа (верх закрыт).

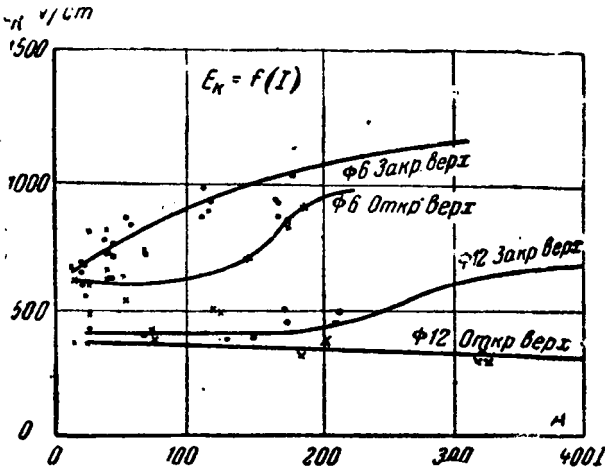


Рис. 1.

Полученный экспериментальный материал с достаточной определенностью показывает, что продольный градиент напряжения на дуге постоянен по всей длине дуги и что продольный поток газа оказывает малое влияние на охлаждение столба дуги. Учитывая равномерность градиента напряжения на дуге по всей ее длине, можно предположить, что главную роль в деионизации дуги играет не продольный поток газа, а элементарные радиальные потоки газа, направленные от стенок трубки к ее центру, внедряющиеся в столб дуги и приводящие к ее энергичной деионизации и погашению.

Закрытие выхода для газа приводит к уменьшению продольного потока газа, но это не ухудшает условий деионизации и гашения дуги, так как радиальные потоки газа, которые собственно и обуславливают гашение дуги, при этом остаются неизменными. При закрытой трубке создается также возможность для накопления газа и повышения давления в зоне горения дуги. Повышение давления газа приводит к увеличению электрической прочности газа, вследствие чего напряжение повторного зажигания повышается. Кроме того повышение давления газа приводит к повышению объемной теплоемкости и теплопроводности газа, что в свою очередь обуславливает усиление процессов деионизации дуги.

Характер кривых рис. 1 полностью подтверждает эту точку зрения. В трубках малого диаметра (6 мм) с закры-

тым верхом, с ростом тока имеется непрерывное нарастание критического градиента гашения, объясняющееся значительным нарастанием давления даже при небольших токах. В трубках большего диаметра (12 мм) нарастание критического градиента начинается лишь с определенной величины силы тока, которая тем больше, чем больше диаметр газогенерирующего канала. Записи давления показывают, что при наличии избыточного давления в 0,2—0,3 ат уже наблюдается увеличение критического градиента гашения. В трубах с открытым верхом, но малого диаметра, также наблюдается увеличение критического градиента гашения, что объясняется, в основном, временным повышением давления в трубке из-за интенсивного газообразования и малой скорости истечения газа.

Деионизирующее действие радиальных потоков газа происходит в момент, близкий к прохождению тока через дугу в бестоковую паузу, когда подвод энергии к столбу дуги становится весьма малым и температура остаточного столба дуги резко падает.

Газовыделение стенками дугогасительного канала между бестоковой паузы или к концу полупериода зависит от температуры, до которой нагрелись стенки канала за период, и эта температура находится в определенной зависимости от энергии, выделившейся в дуге. Поэтому можно предположить, что гашение дуги обеспечивается в тех случаях, когда потеря энергии в дуге за полупериод равна или больше некоторой определенной величины.

Исследование показало, что для каждого значения тока действительно обеспечивается гашение дуги, как только выделившаяся в ней за полупериод, становится больше определенной величины, называемой нами в дальнейшем $W_{кр}$. Соответственно этому мы можем написать

$$W_{кр} \geq K_1 I.$$

Учитывая, что эксперименты проводились при постоянном восстанавливаемомся напряжении U_0 и принимая $U_0 K$ получим:

$$W_{кр} \geq K U_0 I.$$

Из полученного соотношения следует, что гашение дуги в цилиндрических газогенерирующих каналах обеспечивается только тогда, когда энергия дуги за полупериод достаточна для обеспечения определенной величины отрываемой мощности.

Подробный анализ полученных экспериментальных данных показал, что для трубок диаметром от 6 до 12 мм соответственно меняется от 0,0042 до 0,0055, т. е. средняя критическая мощность дуги за полупериод равна 4—6% от разрываемой мощности (при длительности полупериода = 0,01 сек).

Последнее соотношение проверено для довольно широкого диапазона токов, при напряжениях от 3 до 11 кВ.

Уравнение (1) после некоторого преобразования позволяет вычислять критическую длину дуги, т. е. ту длину дуги, которую надо растянуть дугу, чтобы обеспечить ее погашение в данных конкретных условиях:

$$W_{кр} = I^2 R_{кр} t,$$

где $R_{кр}$ — эффективное сопротивление дуги за послебестоковую паузу; t — длительность полупериода.

Так как по опытным данным удельное эффективное сопротивление дуги зависит только от силы тока и диаметра газогенерирующего канала, то $R_{кр} = \rho I_{кр}$, где ρ — удельное эффективное сопротивление дуги и $I_{кр}$ — критическая сила тока.

Введя все эти величины в уравнение (1), получим

$$I^2 \rho I_{кр} t = K U_0 I,$$

откуда

$$I_{кр} = k \frac{U_0}{t \rho},$$

т. е. критическая длина дуги прямо пропорциональна восстанавливаемому напряжению и обратно пропорциональна разрываемому току и удельному эффективному сопротивлению дуги, которое в свою очередь обусловлено величиной тока и диаметром газогенерирующего канала.

Для подсчета критической длины по уравнению (2) не хватает только величины ρ , которую мы еще не имеем возможности подсчитать теоретически. Опытный материал, однако, позволяет для диаметров канала 6—12 мм под-

зависимости $\rho = f/I$. В таком образом получаем возможность подсчитать критическую длину дуги или, иначе говоря, необходимый минимальный ход контактов.

Пользуясь опытными данными, нам удалось установить, что только при диаметрах канала в 6—8 мм удается гасить дугу при всех токах, от самых малых до нескольких сот ампер, при практически приемлемом ходе контактов, и определить для этих диаметров канала минимально допустимый ход контактов.

Было установлено, что закупорка или дросселирование выходного отверстия для газов не только не ухудшает дугогасительную способность газогенерирующей камеры, но, наоборот, даже улучшает ее работу. Последнее было использовано при разработке разъединителя мощности на 10 кВ.

Разъединитель мощности типа УРМ-6/200 (упрощенный разъединитель мощности 6 кВ 200 А разрываемого тока).

Исследования дугогасительной способности газогенерирующих цилиндрических каналов показало, что при диаметре трубки 6—8 мм можно при напряжении в 6—10 кВ надежно погасить весь диапазон токов до 200—300 А. Но при таком диаметре газогенерирующего канала, а следовательно, при соответствующем диаметре контактного стержня, конечно, не представляется возможным допустить длительную нагрузку током в несколько сот ампер и приходится шунтировать дугогасительные контакты мощными контактами, могущими обеспечить длительное прохождение нормальных нагрузочных токов, а также сквозных токов короткого замыкания. В качестве шунтирующих контактов автором предложено было воспользоваться контактами нормального трехполюсного разъединителя типа РВТ-32. Это позволило сконструировать разъединитель мощности (рис. 2), который, по сути дела,

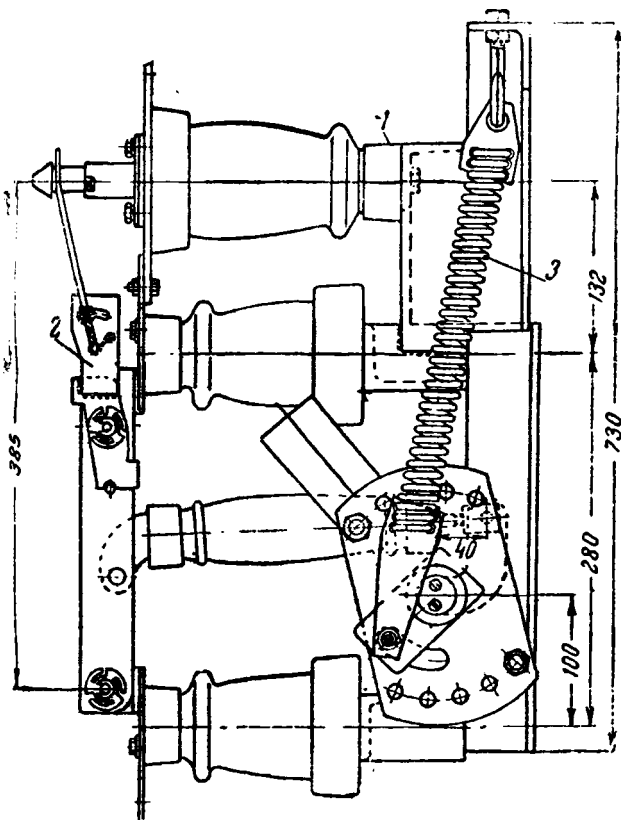


Рис. 2.

представляет собой нормальный трехполюсный разъединитель, к которому пристроены дугогасительные камеры 1. При включенном положении аппарата ток проходит по контактной системе разъединителя и далее через шинку дугогасительной камеры, минуя дугогасительные контакты. При отключении разъединителя ножи начинают сходить с перьев контактов. При этом отключающие вилки, служащие для кинематической связи дугогасительных контактов с ножами 2 благодаря наличию кольцевых пазов в несущих щечках, не двигаются вместе с ножами, а только поворачиваются по отношению к ним. Размыкание контактов разъединителя происходит без дугообразования, так как они зашунтированы цепью, составленной из отключающей вилки и контактов дугогасительной камеры. После размыкания контактов разъединителя кольцевой зазор в несущих щечках оказывается выбран-

ными и вилки начинают двигаться вместе с ножами, размыкая тем самым дугогасительные контакты. Конструкция дугогасительной камеры показана на рис. 3.

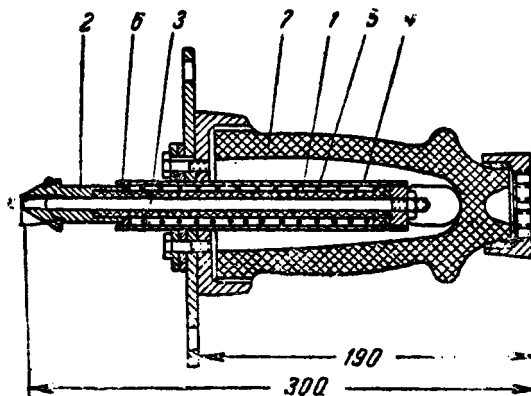


Рис. 3.

Она состоит из дугогасительной газогенерирующей трубки 1, выполненной из органического стекла. На конец трубки накрут наконечник 2, являющийся подвижным дугогасительным контактом. Неподвижным дугогасительным контактом служит латунный стержень 3, укрепленный в донышке держателя 4 при помощи пружины 5 и крышки 6. Кожухом для дугогасительной камеры служит фарфор 7 нормального изолятора типа ОА-6 или ОА-10.

Когда отключающие вилки начинают двигаться вместе с ножами, они упираются в бортики наконечников и начинают вытягивать дугогасительные трубки из полости камер.

В момент разрыва цепи между наконечником и стержнем образуется дуга, растягивающаяся внутри газогенерирующей трубки по мере вытягивания ее из камеры. При достижении критической длины дуга гаснет, и спустя некоторое время, вилки соскальзывают с наконечников, а дугогасительные трубки под действием пружинки затягиваются обратно в полости камер.

При включении разъединителя сначала замыкаются контакты разъединителя и лишь после этого вилки заскакивают за бортики наконечников. Таким образом дугогасительные контакты нагружаются током на весьма короткое время только при отключении разъединителя. Для обеспечения требуемой скорости отключения, независимой от опытности и сноровки обслуживающего персонала, к разъединителю мощности пристраивается перекидной механизм.

Принцип работы перекидного механизма заключается в том, что предварительно производится растяжение пружины 3 (рис. 2), которая, переходя за «мертвую» точку, получает возможность сжаться и через систему рычагов производит отключение разъединителя и обеспечивает требуемую скорость отключения. При помощи этого механизма достигается и обратное включение разъединителя мощности.

Управление разъединителем мощности производится при помощи обычного ручного рычажного привода.

Испытания разъединителя мощности при напряжении 6,6 кВ на фазу и $\cos \varphi \approx 0$ показали, что он надежно справляется с гашением всего диапазона токов до 200 А. Длительность горения дуги равна 2—3 полупериодам и лишь при сильно изношенных трубках повышается до 4—5 полупериодов.

Благодаря такой малой длительности горения дуги, дугогасительные контакты изнашиваются весьма мало. За 200 отключений тока в 200 А контактные стержни обгорают по длине всего на 3—4 мм.

Устойчивость газогенерирующей трубки получается вполне достаточной. При токе в 200 А она допускает 200 отключений без смены газогенерирующей трубки, а при токе в 50 А — более 500. Механические, тепловые и высоковольтные испытания показали, что разъединитель мощности соответствует существующим нормам. Термическая и динамическая устойчивые остаются такими, как и для нормальных разъединителей.

В настоящее время разъединители мощности типа УРМ-6/200 начали выпускаться заводами № 659, «Электроаппарат» и «КИП» (Наркомнефть).

Разъединитель мощности РМГ-10/200 (разъединитель мощности — газогенерирующий 10 кВ 200 А отключаемого тока).

Разъединитель мощности УРМ-6/200 является аппаратом, предназначенным для работы в 6-кV сети. Попытки увеличить рабочее напряжение до 10 кV путем простого увеличения хода дугогасительной трубки не привели к желаемым результатам, так как при увеличенном ходе трубки не удается обеспечить достаточную механическую прочность трубки.

Разъединитель мощности типа УРМ обладает еще тем недостатком (свойственным, кстати сказать, и заграничным газогенерирующим разъединителям мощности), что при отключении им токов, близких к номинальным, происходит довольно значительный выброс пламени и горячих газов. При переходе к повышенным напряжениям появлялась опасность междуфазовых перекрытий по горячим газам.

Все эти обстоятельства заставили для дугогасительных камер разъединителя мощности, рассчитанного на 10 кV, искать другие конструктивные решения.

Исходя из положительных результатов исследования трубок с закрытым выхлопом, проф. Ю. В. Буткевичем и инж. А. М. Бронштейном была предложена новая дугогасительная камера с задросселированным выходом для газа (рис. 4). Она состоит из дугогасительного элемента 1, вы-

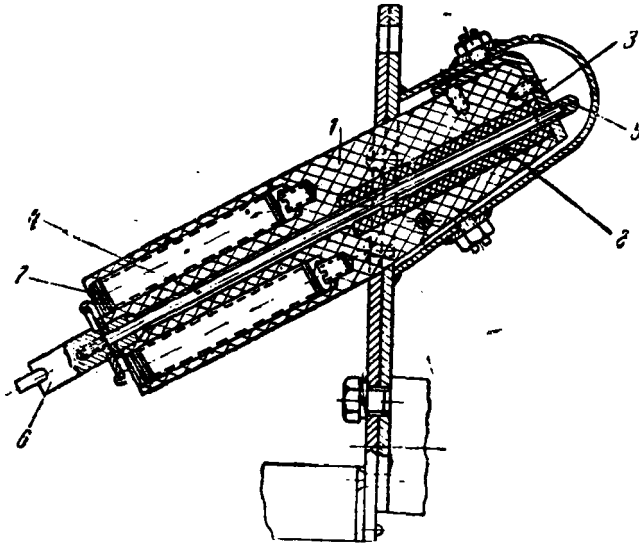


Рис. 4.

полненного из бруска органического стекла размером 25××60. Внутри дугогасительного элемента закладывается сменная газогенерирующая трубка 2. К дугогасительному элементу привертывается контактный угольник 3, являющийся неподвижным дугогасительным контактом. Подвижный дугогасительный контакт состоит из токоведущего стержня 4, на один конец которого навинчивается латунный контактный колпачок 5, а на второй — конусный наконечник 6. Подвижный контакт удерживается внутри дугогасительного элемента при помощи двух пружинок 7. Дугогасительный элемент закрепляется в глушителе, в верхней стенке которого имеется несколько мелких отверстий для выхода газа.

Монтаж дугогасительных камер на разъединителе и общая компоновка разъединителя мощности показаны на рис. 5.

В отличие от дугогасительной камеры разъединителя мощности типа УРМ здесь подвижным элементом является не дугогасительная трубка, а контактный стержень, что позволяет при увеличенном ходе контактов обеспечить хорошую механическую прочность. Выброс пламени и газов происходит не в атмосферу, а в объем глушителя, где газы перед выходом наружу дросселируются и охлаждаются.

Испытания разъединителя мощности РМГ при напряжении до 11 кV на фазу показали, что он надежно гасит весь диапазон токов до 200 А в течение 3—5 полупериодов. Выброс пламени при отключении малых и средних токов отсутствует вовсе, и лишь при отключении предельных токов у выходных отверстий глушителя иногда наблюдаются язычки темножелтых газов высотой 50—60 мм. Испытания на предельное количество отключений показали, что при 10 кV на фазу и токе в 100 А разъединитель мощности допускает 250 отключений без смены газогенерирующей трубки, а при токе 50 А — 700 отключений.

Механические, тепловые и высоковольтные испытания разъединителя мощности дали вполне удовлетворительные результаты и показали полное соответствие существующим нормам.

Разъединитель мощности РМГ по простоте конструкции по надежности и устойчивости в работе превосходит луч образцы заграничных газогенерирующих разъединителей и со временем заменит выпускаемый сейчас разъединитель мощности типа УРМ.

Завод «Электроаппарат» в настоящее время ведет подготовку к выпуску разъединителей мощности РМГ-10, а за КИП уже начал их производство.

Некоторые принципиальные схемы применения разъединителей мощности. Разъединители мощности являются нашего электрохозяйства новыми аппаратами. Поскольку сейчас наши заводы приступили к выпуску этих аппаратов, следовательно, создалась реальная возможность для применения в эксплуатации, не лишне будет здесь в общих чертах остановиться на некоторых принципиальных схемах применения разъединителей мощности.

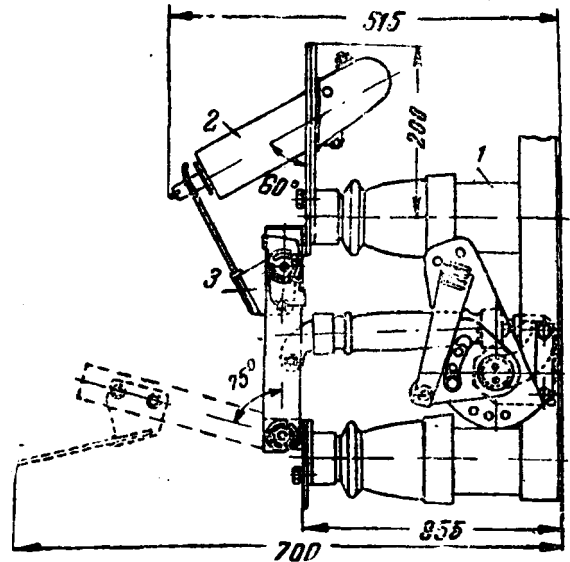


Рис. 5.

а) Высоковольтные ячейки с разъединителями мощности и высоковольтными предохранителями.

Разъединители мощности совместно с предохранителями могут применяться вместо масляных выключателей в высоковольтных ячейках при разрывной мощности до 200 МВ.

Схема коммутации обладает надежностью и гибкостью не на много уступающей ячейкам с масляными выключателями. Благодаря полной взрывобезопасности современных высоковольтных предохранителей и разъединителей мощность ячейка может располагаться в любом месте производственного помещения.

б) Комплексные подстанции с разъединителями мощности.

В последнее время в американской промышленности стали широко применяться комплексные подстанции, состоящие из трансформатора малой или средней мощности, к которому пристраивается металлический ящик, в котором монтируются разъединитель мощности и предохранители. Особое широкое применение комплексные подстанции могут найти там, где требуются легкие передвижные установки, а также в цеховых подстанциях, где по технологическим условиям желательно расположение высоковольтной ячейки в непосредственной близости от питаемого объекта.

в) Разъединители мощности для управления высоковольтными электродвигателями.

Во многих случаях целый ряд высоковольтных двигателей питается от одного фидера, защищаемого фидерным выключателем. Для управления двигателями в непосредственной близости от них устанавливаются масляные выключатели. При такой схеме все масляные выключатели для управления высоковольтными двигателями могут быть заменены разъединителями мощности, которые позволяют коммутировать 6 кV двигатели мощностью до 2 000 кВА. При замене ручного рычажного привода приводом типа РБА или каким-либо другим, допускающим автоматическое отключение, и несложной переделке перекидного механизма при перегрузках осуществляется автоматическое отключение разъединителя мощности.

Требующаяся периодическая смена газогенерирующих деталей не представляет ухудшения эксплуатационных харак-

дверстия разъединителей мощности по сравнению с масляными выключателями. Как показывает практика эксплуатации масляных выключателей, после 500 отключений тока в 50 А у масляного выключателя должна быть произведена полная замена масла и контактных пальцев. Разъединитель мощности РМГ при этих токах допускает большее количество отключений без смены дугогасительных деталей, а ревизия разъединителя мощности производится проще, чем ревизия масляного выключателя.

г) Применение разъединителя мощности взамен секционных разъединителей.

Ошибки при операциях с секционными разъединителями являются довольно частым источником аварий. При замене секционных разъединителей разъединителями мощности вероятность аварий при ошибочных действиях почти исключает-

ся, а это повышает надежность и гибкость распределительных устройств.

Разъединители мощности — простые и надежные аппараты должны найти широкое распространение в различных областях нашего электрохозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Leistungtrennschalter. ETZ, H. 34, 1936.
2. Brown-Boveri Leistungtrennschalter. BBC Mitt., № 7, 1938.
3. Neue Hartgasleistungtrennschalter. AEG Mitt., H. 3—4, 1940.
4. Fundamental consideration in selecting metal-enclosed switches. GER, May 1942.
5. The auto-blast interrupter switches. El. Eng., April 1943.
6. Load break switches find wide war plant application. El. World, № 12, 1944.

Мощные высоковольтные предохранители с кварцевым песком

Кандидат техн. наук А. М. МЕЛЬКУМОВ

Всесоюзный электротехнический институт

В статье приведены результаты исследования процесса отключения и испытаний предохранителей с кварцевым песком, разработанных в ВЭИ и выпускаемых заводом „Пролетарий“. Изложены условия селективной работы и описана конструкция этих предохранителей.

Возможность осуществления защиты электрических установок от последствий коротких замыканий без применения сложного комплекса защитных аппаратов (мощных выключателей, трансформаторов тока, реле), при помощи предохранителя, как наиболее простого и нетребовательного из отключающих аппаратов, выдвинула новые требования к высоковольтным предохранителям. К числу этих требований относятся: а) высокая отключающая способность; б) быстрое и надежное гашение дуги; в) селективная работа.

Выпускавшиеся до последнего времени нашими заводами высоковольтные предохранители имели малую отключающую способность (около 15 MVA) и не допускали селективной работы. Это ограничивало область их применения защитой малоомощных трансформаторов и неответственных потребителей.

В последнее время появился ряд новых конструкций предохранителей, использующих для гашения дуги дутье газов, выделенных дугой из жидких или твердых газогенерирующих материалов (масло, четыреххлористый углерод, фибра, борная кислота и др.), либо использующих деионизирующие свойства мелкозернистых наполнителей (кварцевый песок и др.). Предохранители этих новых конструкций обладают большой отключающей способностью (сотни MVA).

Наибольший интерес представляют токоограничивающие предохранители, прерывающие цепь раньше, чем ток достигнет максимального значения, соответствующего условиям короткого замыкания. Наиболее полно эффект токоограничения проявляется в предохранителях с мелкозернистыми наполнителями. Такие предохранители получили распространение в последнее время как в Европе, так и в США. Конструктивные формы предохранителей различных фирм отличаются своими деталями и применяемыми материалами. Они представляют собой замкнутый патрон, заполненный мелкозернистой гасящей средой, в которой помещена довольно длинная плавкая проволока.

Более 1500 опытов отключения, проделанных в ВЭИ, результаты которых частично описаны ниже, позволили нам разработать предохранители с заполнением кварцевым песком, в полной мере удовлетворяющие современным требованиям.

Исследование процесса отключения. Действие предохранителей с мелкозернистым наполнителем основано на чрезвычайно быстрой деионизации дуги в узких щелях между песчинками наполнителя. Дуга, возникающая на месте пролегания плавкой проволоки, насыщена ионизированными парами металла проволоки, находящимися благодаря высокой температуре под большим местным давлением. Ионизированные части разбрасываются этим давлением в поперечном направлении, проникают в зазоры между песчинками и, оседая на них, охлаждаются и деионизируются.

После отключения на месте пролегания проволоки всегда обнаруживается полая шлаковая трубочка из спекшихся с металлом песчинок наполнителя. Наружный диаметр ее тем больше, чем больше энергии поглощается ею.

При малых величинах отключаемого тока расплавление проволоки происходит первоначально на небольшой длине, и возникающая дуга удлиняется затем за счет дальнейшего расплавления проволоки до тех пор, пока не достигнет необходимой для гашения длины. По мере увеличения величины отключаемого тока проволока плавится на большей длине, длина дуги, необходимая для гашения, достигается быстрее и длительность горения ее падает.

При больших величинах отключаемого тока плавкие проволоки плавятся и испаряются в течение долей полупериода, почти одновременно по всей длине. Гашение дуги при этом происходит настолько интенсивно, что ток с момента образования дуги резко падает. Если расплавление и испарение проволоки происходят до достижения током своего наибольшего (амплитудного) значения, то проявляется токоограничивающее свойство предохранителей (рис. 1).



Рис. 1. Оциллограмма отключения тока 36000 А_{eff} предохранителем на 3 кВ, 50 А.

Основное условие гашения дуги состоит в том, чтобы напряжение, необходимое для ее поддержания, было выше располагаемого напряжения сети. Индуктивность сети поставит необходимое избыточное напряжение, и дуга может существовать лишь до тех пор, пока энергия, накопленная в индуктивности контура к моменту возникновения дуги, не будет рассеяна в предохранителе.

Если в первом приближении считать, что превышение напряжения дуги над напряжением сети неизменно и равно $U_n = kU_m$ и что ток в дуге уменьшается по прямой (рис. 2),

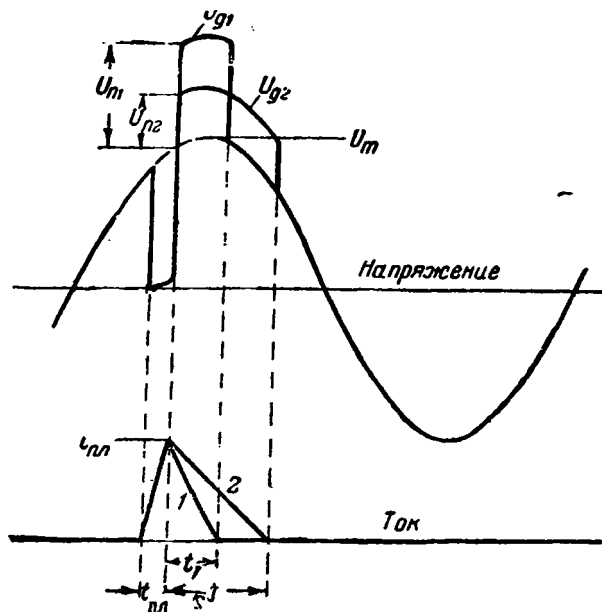


Рис. 2.

то время гашения дуги определится из условия, что магнитная энергия полностью рассеивается в предохранителе, т. е.

$$\frac{L I_{n1}^2}{2} = \frac{U_n I_{n1}}{2} t_d$$

или, учитывая, что $L = \frac{U_m}{\omega I_m}$ и подставляя $t_{n1} = a \sqrt{\frac{I_m^2}{q^2}}$,

получим

$$t_d = \frac{a}{\omega k \sqrt{\frac{I_m^2}{q^2}}}$$

Следовательно, время гашения дуги уменьшается с увеличением напряжения дуги (k) и отключаемого тока (I_m) и растёт с увеличением сечения проволоки (q) и зависит от материала ее и предварительного нагрева (a).

Эти выводы подтверждаются нашими исследованиями. Так, при увеличении длины проволоки от 800 до 1800 мм при 10 кВ наблюдалось неуклонное снижение времени горения дуги от 7 до 1,35 мсек. Точно так же при увеличении отключаемого тока от 3000 A_{eff} до 6000 A_{eff} время гашения уменьшалось от 1,5 раз при малых длинах проволоки, до двух раз при больших длинах ее.

С уменьшением времени горения дуги при сохранении прочих условий суммарная энергия, выделенная в предохранителе, также уменьшается за счет снижения количества энергии, доставляемой сетевыми генераторами в период гашения дуги. Вместе с тем облегчаются условия гашения дуги предохранителем. Напряжение дуги, а с ним и дугогасящая способность предохранителя зависят от длины дуги, материала и количества металлических паров в ней, силы тока, качества дугогасящей среды (кварцевого песка) и других факторов. Для оценки влияния того или иного фактора может служить наименьшая, названная нами критической, длина проволоки, при которой гашение дуги еще происходит.

Большое количество опытов, проделанных с предохранителями, имеющими лишь одну плавкую проволоку, позволило установить что критическая длина проволоки растёт с уве-

личением рабочего напряжения, диаметра проволоки и зависит от силы отключаемого тока, от материала проволоки качества наполнителя и других факторов.

Влияние диаметра проволоки особенно велико при малых величинах отключаемого тока. Так, при отключении тока около 50 А изменение диаметра медной проволоки от 1 до 0,5 мм вызывает увеличение критической длины проволоки в 3,5 раза. При отключении тока около 3000 А критическая длина проволоки возросла всего в 1,25 раза, а изменение диаметра медной проволоки от 0,1 до 0,64 мм. Вместе с тем при длине проволоки больше критической, увеличение диаметра проволоки приводит к увеличению длительности горения дуги при отключении одного и того же тока.

При опытах отключения малых токов разной величины подобранных так, чтобы плотность тока в проволоках различного диаметра оставалась неизменной, время гашения дуги также оказалось одинаковым. Сопоставление критической длины проволоки различного диаметра при одинаковой плотности отключаемого тока показывает небольшую разницу.

Изменение отключаемого тока вызывает изменение критической длины. При малых величинах отключаемого тока наблюдалось снижение критической длины единичной проволоки, с увеличением тока до некоторого предела, после которого дальнейшее возрастание тока вызывало увеличение критической длины. Минимум критической длины найден при плотности тока короткого замыкания около 2000 A_{eff} / mm^2 .

Сравнение наиболее употребительных для плавки вставок материалов — меди и серебра — показало небольшую разницу с точки зрения дугогашения в пользу меди. Значительно лучшие дугогасящие свойства показали константы вольфрам. Они не пригодны для силовых предохранителей вследствие малой проводимости, однако с успехом могут быть использованы для предохранителей к трансформаторам напряжения.

В качестве дугогасящей среды в предохранителях с наполнителем были попытки использовать различные материалы (мел, тальк, мраморная крошка и др.). Наилучшие результаты получены с чистым кварцевым песком. Он не разлагается при высокой температуре дуги, не выделяет каких-либо газов и при спекании с металлом плавкой проволоки в условиях нормального отключения не образует проводящей шлаковой массы. Чем чище кварцевый песок, чем меньше в нем окислов металлов и посторонних примесей, тем выше его дугогасящие свойства. Отрицательно влияет на дугогасящие свойства увлажнение песка.

Существенное влияние на дугогасящую способность оказывает расположение плавких проволок. Чем свободнее расположена плавкая проволока во всех своих частях в наполнителе, тем благоприятнее условия гашения дуги. Так, например, единичная проволока диаметром 0,3 мм, свитая в спираль диаметром 4 мм, не отключала тока 23 А. Та же проволока, свитая в спираль диаметром 9 мм, уже отключала этот ток, хотя и не надежно. При диаметре спирали 16 мм случаев отказа уже не наблюдалось. Аналогичная картина наблюдалась и при больших отключаемых токах.

Подразделение плавкой вставки на несколько параллельных проволок, свободно размещенных в патроне, дает двоякую выгоду. С одной стороны, благодаря применению меньшего диаметра проволок и лучшему распределению их по сечению патрона увеличивается теплоотдача, и общее сечение вставки для данного номинального тока можно иметь меньшим, чем при применении одной проволоки. С другой стороны, дуга возникает в нескольких параллельных каналах (об этом свидетельствует образование шлаковых трубок по следу каждой из проволок), так что в рассеянии энергии дуги участвует больший объем наполнителя и, следовательно, гашение дуги облегчается.

Так, например, предохранители с тремя, шестью и даже девятью параллельными плавкими проволоками диаметром 0,3 мм легко отключали ток 23 А в тех же условиях, в которых предохранитель с одной такой же проволокой не отключал этого тока, несмотря на значительно большую плотность тока. При сохранении плотности тока неизменной наблюдалось снижение времени гашения дуги с увеличением количества параллельных проволок.

При изменении частоты собственных колебаний цепи влияние ее на процесс отключения отмечалось лишь при длинах проволоки, близких к критической, когда время гашения дуги уменьшается с уменьшением частоты собственных колебаний, т. е. практически частота собственных колебаний цепи не влияет на работу предохранителя.

Длина плавкой проволоки должна находиться в соответствии с рабочим напряжением сети. Исследования при напряжениях в 3, 6, 10, 22 и 35 kV показали, что критическая длина проволоки растет несколько медленнее, чем увеличение напряжения при сохранении одной и той же отключаемой мощности.

Надежное гашение происходит при длинах проволоки несколько больших критической и соответствующих по нашим данным для напряжений до 35 kV формуле

$$l = 160 + 70U_n$$

где l — рабочая длина медной проволоки в мм; U_n — номинальное напряжение предохранителя в kV.

С токоограничением связано возникновение перенапряжений при отключении токов короткого замыкания.

В момент испарения вставки цепь тока прерывается, так как пары металла при температуре испарения не проводят тока. С прекращением тока освобождается электромагнитная энергия, запасенная в индуктивности цепи, и напряжение на предохранителе повышается со скоростью, определяемой частотой собственных колебаний сети. Напряжение повышается до тех пор, пока не произойдет пробоя паров металла и зажигания дуги в предохранителе.

Исследования, произведенные с помощью катодного осциллографа, показали, что напряжение зажигания дуги не зависит от рабочего напряжения и частоты собственных колебаний сети. Оно растет почти прямо пропорционально увеличению длины пробиваемого промежутка или длины плавкой проволоки и растет с увеличением скорости испарения, т. е. с увеличением плотности отключаемого тока. Рост перенапряжений с увеличением плотности отключаемого тока, быстрый вблизи начала токоограничения, затем сильно замедляется. Так, при увеличении плотности тока от 20 до 100 kA_{eff}/mm² перенапряжения растут всего на 10—15%. В практически возможных случаях перенапряжения оказались независимыми от частоты собственных колебаний.

Если не принять специальных мер, величина перенапряжения в момент зажигания дуги может достигать пятикратно и выше значения линейного напряжения, что может быть опасным для целостности изоляции, защищаемой предохранителем установки.

В описываемых ниже предохранителях для снижения перенапряжений применены плавкие проволоки не одинакового по длине сечения, либо параллельно плавким проволокам включены специальные вспомогательные проволоки, снабженные искровыми промежутками, по обе стороны от которых проволоки имеют различное сечение.

Применение проволок не одинакового по длине сечения сокращает длину пробиваемого промежутка и снижает напряжение зажигания дуги, так как первоначально плавится и испаряется участок проволоки меньшего сечения, длина которого невелика, а к моменту испарения следующих по сечению участков проволоки промежуток первого участка настолько ионизирован дугой, что пробивное напряжение его невелико. Применение вспомогательных проволок преследует ту же цель. Достигается это тем, что по испарении плавких проволок пробивается искровой промежуток вспомогательной проволоки и дальше процесс протекает, как для проволоки не одинакового по длине сечения. Оба метода оказались одинаково эффективными для предохранителей на малые номинальные токи. Для предохранителей на большие номинальные токи преимущество оказалось на стороне первого метода, позволяющего свободнее использовать габариты предохранителя и поэтому меньше влияющего на дугогасящую способность.

Конструкция и результаты испытаний предохранителей.

В результате проведенных исследований разработана конструкция серии предохранителей для напряжений 3, 6, 10 и 35 kV на номинальные токи до 100 А. Патрон предохранителя (рис. 3) состоит из фарфоровой трубки (кожух) с армированными по концам колпачками. В фарфоровую трубку вставляется плавкая вставка и после заполнения сухим чистым кварцевым песком запаивается герметически. Для обнаружения сработавшего предохранителя он снабжен указателем срабатывания пружинного типа.

Плавкие проволоки либо предварительно наматываются на керамический ребристый сердечник (рис. 3а), либо непосредственно в виде спиралей (рис. 3б) вставляются в кожух.

Исследования показали, что для плавких вставок до 7,5 А наличие сердечника не оказывает влияния на работу предохранителя. При больших номинальных токах обнаружилось существенное различие между предохранителями с плавкими вставками на сердечниках и без них.

При малых отключаемых токах, когда длительность горения дуги велика, керамические сердечники расплавляются и образуют с металлом плавких проволок и песком проводящую в горячем состоянии массу, в результате чего ток не прекращается и предохранитель разрушается. С сердечниками из различных материалов (стекло, фарфор, талькодуит, синтеркорунд) получались одинаково неблагоприятные результаты. Это явление наблюдается при отключении токов, меньших трехкратного номинального тока вставки.

Предохранители со спиральными плавкими вставками без сердечников отключают любые токи малых перегрузок и даже токи, меньшие номинального тока вставки. В последнем случае плавкие вставки доводились до расплавления при токах, несколько больших номинального, а затем перед плавлением последней проволоки ток снижался.

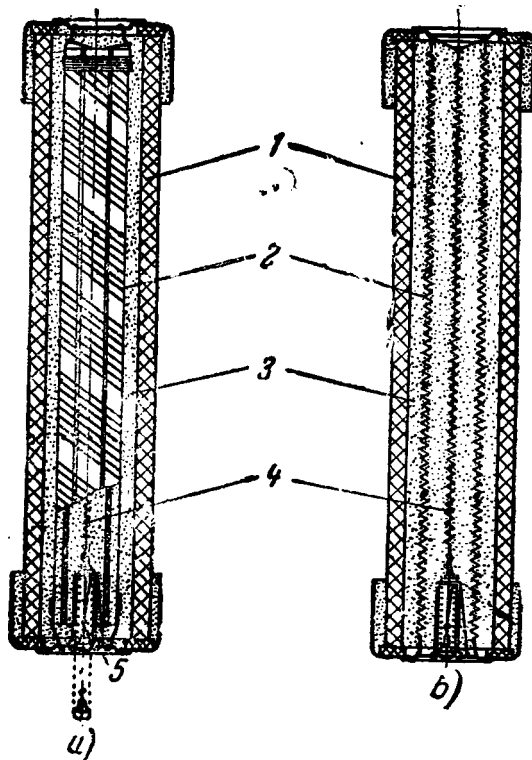


Рис. 3. Патроны предохранителя.

а — с плавкой вставкой на сердечнике; б — со спиральными плавкими проволоками; 1 — кожух; 2 — плавкая вставка; 3 — кварцевый песок; 4 — указательная проволока; 5 — указатель.

Предохранители с сердечниками и без них отключают одинаково надежно токи, большие трехкратного номинального. Они были испытаны на отключение токов до 20 000 A_{eff} при 6,6 kV и до 36 000 A_{eff} при 3,3 kV, а также до 6 500 A_{eff} при 11 kV и 3 300 A при 35 kV. Отключение короткого замыкания происходило при полном времени его 0,005—0,007 sec (рис. 1). Отключения производились при полном линейном напряжении, восстаивающемся на патроне, т. е. в наиболее тяжелом и редком в эксплуатации случае. Перенапряжения, зарегистрированные катодным осциллографом, не превышали 2,5-кратного значения линейного напряжения.

Дальнейшие испытания в сетях при мощностях свыше 200 MVA покажут, каков верхний предел отключающей способности их. Имеющиеся данные позволяют предполагать, что он будет не ниже 300 MVA для 6 и 10 kV.

Ответ на вопрос, имеют ли какие-либо преимущества предохранители с сердечниками, дают следующие результаты испытаний предохранителей с сокращенной на 20 % длиной патрона. Предохранители с сердечниками и в этом случае также отключали токи короткого замыкания в прежних пределах, тогда как предохранители со спиральными проволоками отказывали в отключении токов свыше 7 000 А при 6 kV и разрушались. Эти опыты показывают, что предохранители с плавкими вставками на сердечниках имеют более благоприятное расположение плавких проволок и при одинаковых габаритах предел отключающей способности их выше, чем для предохранителей со спиральными проволоками.

При малых перегрузках в период плавления вставки выделяется большое количество энергии, и вследствие высо-

кой температуры плавления материала проволок и большого времени нагрева температура отдельных частей предохранителя может достигать недопустимо больших величин.

Для защиты кожуха предохранителя от разрушений плавкие проволочки снабжены растворителями в виде одного или двух шариков из чистого олова, напаянных на них. Благодаря тому, что олово в расплавленном состоянии растворяет в себе материал плавкой проволоки (медь, серебро), это приводит к перегоранию ее при относительно невысоких температурах. Измерения средней температуры плавкой проволоки в зависимости от времени плавления показывают, что, при отсутствии растворителя, при времени плавления больше 10 мин она не зависит от последнего и составляет около 1000°C для меди и 860°C для серебра, т. е. мало отличается от температуры плавления этих материалов. При применении растворителя средняя температура плавкой проволоки уменьшается с увеличением времени плавления вначале резко, затем медленнее, асимптотически приближаясь к некоторой величине, определяемой температурой плавления материала шарика растворителя. Так, при наличии шарика растворителя из сплава олова со свинцом при времени плавления 10 мин средняя температура медной плавкой проволоки в момент плавления составляла уже только 500°C, а при времени плавления больше 1 1/2 час. — всего 280°C.

Время плавления плавких проволок с растворителем зависит от размеров шарика. При большом диаметре его сказывается теплоотдача с его поверхности, что приводит к увеличению времени плавления и средней температуры. При очень больших диаметрах наблюдались даже случаи расплавления проволоки в стороне от шарика. При очень малых диаметрах шарика материала, заключенного в нем, недостаточно для полного растворения проволоки, что приводит к увеличению времени плавления и к более высоким температурам плавления. Оптимальный диаметр шарика для проволок диаметром до 0,3 мм по нашим исследованиям лежит между 1 и 2 мм.

Селективность. Основное условие селективной работы двух предохранителей заключается в том, чтобы за время плавления и гашения дуги в первом предохранителе второй предохранитель не плавился и плавкая вставка его не претерпевала необратимых изменений.

Наиболее полно это условие при токах короткого замыкания может быть удовлетворено лишь для токоограничивающих предохранителей. Для всех других предохранителей, в которых гашение дуги происходит в момент естественного прохождения тока через нуль, выполнение этого условия связано с значительными затруднениями из-за относительно большой энергии, выделяемой во втором предохранителе за время гашения дуги в первом.

Для двух токоограничивающих предохранителей, плавящие токи которых i_1 и i_{II} , условие селективной работы будет

$$\int_{t_1}^{t_n} i^2 dt > \int_{t_1}^{t_k} i_{\partial}^2 dt,$$

где t_1 и t_{II} — времена плавления соответственно первого и второго предохранителя, t_k — полное время короткого замыкания.

Считая подъем плавящего тока и снижение тока дуги ($i_{\partial} = i_1 \frac{t_k - t}{t_k - t_1}$) в первом приближении прямолинейными, после интегрирования получим

$$\frac{i_{II}^3 - i_1^3}{\omega I_m} > i_1^3 t_{\partial}.$$

Подставляя значения i_1 , i_{II} и t_{∂} , после преобразования получим условие селективной работы двух токоограничивающих предохранителей в виде

$$\frac{q_{II}}{q_1} > \sqrt{1 + \frac{1}{k}},$$

где q_1 , q_{II} — сечения плавких проволок; k — отношение превышения напряжения дуги над напряжением сети к амплитуде напряжения сети.

Таким образом соотношение сечений двух последовательно включенных предохранителей для селективной работы может быть тем меньше, чем больше напряжение дуги в первом предохранителе, т. е. чем быстрее происходит гашение дуги в нем. С этой точки зрения существенное значение имеет вид короткого замыкания. При двухполюсном коротком замыкании в процессе отключения участвуют два полюса включенных предохранителя, поэтому напряжение дуги высокое и гашение дуги чрезвычайно быстрое. При полюсном замыкании является наиболее тяжелым, если учесть, что, как в выключателях, на предохранителе, отключившем первым, восстанавливается полугоракратное фазовое напряжение.

Большое количество опытов позволило установить, уже ближайшая большая ступень по номинальному току обеспечивает селективную работу предохранителей при двухполюсном коротком замыкании. При трехполюсном коротком замыкании понадобилось подняться еще на одну ступень выше по номинальному току. Так, один и тот же предохранитель на номинальный ток 20 А выдержал свыше десяти коротких замыканий, будучи включен последовательно с предохранителями на 10 А, и после всех опытов плавкая вставка его не претерпела каких-либо изменений.

Область применения новых предохранителей. Большая отключающая способность новых предохранителей, быстрое надежное отключение больших токов короткого замыкания ограничением тока до небольших величин позволяют использовать их для защиты маломощных ответвлений от мощных сетей, таких, как городские кабельные сети, торфяные предприятия, сельскохозяйственные предприятия и тому подобному вплоть до собственных нужд станций. Во всех этих случаях до сего времени применяются громоздкие и сложные масляные выключатели, требующие тщательного ухода ними.

Использование предохранителей возможно как непосредственно, так и в комбинациях с простым разъединителем или с разъединителем мощности. В последнем случае такой комбинированный аппарат полностью заменяет масляный выключатель, причем разъединитель мощности производит операции включения и выключения рабочей нагрузки; предохранитель же отключает цепь в случае коротких замыканий в опасных перегрузок.

В комбинации с простым разъединителем новые предохранители могут быть использованы, будучи встроены вместо токоведущих ножей разъединителя, что дает значительную экономию в габаритах и монтаже.

Отсутствие выброса пламени позволяет помещать предохранители в железные ящики комплектных распределительных с минимальными изоляционными расстояниями.

Предохранители со спиральными плавкими вставками могут быть использованы для защиты от коротких замыканий и для защиты от перегрузок. Предохранители с плавкими вставками на сердечниках могут быть использованы лишь для защиты от коротких замыканий, так как токи, меньшие трехкратного, они не отключают; защита от перегрузок должна осуществляться в этом случае другими аппаратами, например предохранителями на низкой стороне трансформатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. O. Ma y r. Hochleistungsschalter ohne Öl. ETZ, H. 30, 32, 1934.
2. H. L ä p p l e. Die Vorgänge bei der Kurzschlussunterbrechung durch schnellabschaltende Hochspannungssicherungen VDE, Fachberichte, S. 72, 1934.
3. H. L ä p p l e. Die Lichtbogenlöschung in körnigen Löschmitteln. ETZ, H. 14 и 16, 1937.
4. D. C. Prince a. E. A. Williams. The current-limiting Power Fuse. Trans. AIEE, 1939.
5. E. A. Williams a. C. L. Schuek. Control of the Switching, Surge Voltages Produced by the Current Limiting Power Fuse. Trans. AIEE, p. 214, 1941.
6. A. Cautenhein. Die progressivschaltende Schmelzsicherung. Bull. ASE, № 9, 1941.
7. A. W. Metcalf. A New Fuse Phenomenon. The Beam Journal, № 22 и 23, 1939.
8. А. М. Мелькумов. Разработка и исследование высоковольтных предохранителей. Бюлл. ВЭИ, № 2, 1940.
9. K. Dannenberg u. W. J. John. A High-voltage high-rupturing-capacity cartridge fuse and its effect on protection technics, Journ. of the Inst. of El. Eng., № 12, 1942.

Измерительный трансформатор, не подверженный влиянию посторонних магнитных полей, и некоторые его применения

Доктор техн. наук, проф. Л. Р. НЕЙМАН

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

В статье дается описание конструкции и теории нового измерительного трансформатора, отличающегося от известного «пояса Роговского» возможностью получения значительной э. д. с., но сохраняющего все свойства последнего. Использование трансформатора может иметь важное значение для электрических измерений.

1. В ранее опубликованной статье¹ был предложен измерительный трансформатор, обладающий свойствами, которые могут оказаться в ряде случаев весьма ценными. Электродвижущая сила, индуцируемая в обмотке этого трансформатора переменным током, протекающим по контуру, проходящему сквозь окно трансформатора, теоретически совершенно не зависит от формы контура индуцирующего тока и от положения этого контура в окне трансформатора. Сколь угодно сильные токи, не проходящие через окно трансформатора, не индуцируют э. д. с. в обмотке трансформатора.

Этими свойствами обладает так называемый «пояс Роговского», представляющий собой тонкую ленту из изолирующего материала, равномерно по длине обмотанную проволокой. Электродвижущая сила, индуцируемая в обмотке ленты, определяется переменными токами, протекающими только по тем проводникам, которые охватываются лентой. Однако по самому принципу своего действия «пояс Роговского» должен иметь весьма малое поперечное сечение, и э. д. с., индуцируемая в его обмотке, не может быть сколько-нибудь значительной. Предлагаемый новый вид трансформатора при полном сохранении свойств «пояса Роговского» может быть осуществлен любых размеров и, следовательно, в его обмотке может быть получена значительная э. д. с.

Пусть замкнутый сердечник трансформатора из материала с постоянной магнитной проницаемостью μ имеет произвольную заданную форму (рис. 1). Требуется

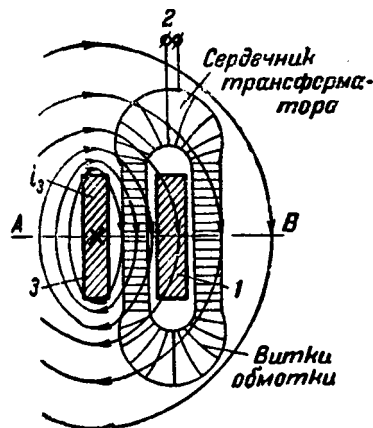


Рис. 1.

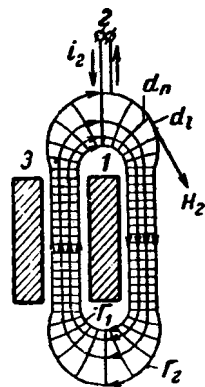


Рис. 2.

так распределить на нем обмотку (цепь 2), чтобы полное число сцеплений со всеми ее витками линий магнитного потока, вызванного током, проходящим по любому проводнику (3) вне окна трансформатора, было равно нулю. Иными словами, требуется, чтобы коэффициент взаимной индукции M_{32} был равен нулю. На основании принципа взаимности, справедливого в случае, если μ не зависит от напряженности поля, имеем $M_{32} = M_{23}$. Поэтому требуемое условие будет осуществлено, если $M_{23} = 0$, т. е. если ток i_2 в обмотке трансформатора будет создавать магнитное поле, не выходящее за пределы обмотки (рис. 2). При этом одновременно удовлетворяется и требование независимости M_{12} от формы контура 1, проходящего через окно трансформатора. Граничные силовые линии такого поля как бы образуют поверхность сердечника. Витки обмотки должны быть расположены

нормально к этим линиям, т. е. совпадать с линиями равного магнитного потенциала. Число витков $\frac{dw}{dl}$ на единицу длины силовых линий, образующих поверхность, должно быть пропорциональным напряженности поля H_2 в данном месте поверхности, а именно:

$$\frac{dw}{dl} = \frac{H_2}{i_2}.$$

Таким образом требуемое распределение витков обмотки будет найдено, если будет рассчитано поле, определяемое условием, что оно ограничено объемом сердечника. Естественно придать сечению сердечника прямоугольную форму, образовав поверхности сердечника двумя цилиндрическими поверхностями, нормальными к плоскости рисунка, и двумя плоскими поверхностями, параллельными плоскости рисунка. В таком сердечнике поле тока i_2 будет плоскопараллельным. Функция потока $V(x, y)$ этого поля² однозначно определяется из уравнения Лапласа $\nabla V = 0$ при следующих граничных условиях: на контуре Γ_1 (рис. 2) должно быть $V(x, y) = C_1 = \text{const}$, а на контуре Γ_2 должно быть $V(x, y) = C_2 = \text{const}$.

Определив таким образом $V(x, y)$, найдем H_2 как производную от V по нормали к силовой линии в плоскости XOY , т. е. $H_2 = \frac{\partial V}{\partial n}$. Так как вдоль контура силовой линии имеем

$$\oint H_2 dl = \oint \frac{\partial V}{\partial n} dl = iw,$$

то число витков на единицу длины силовой линии получится равным

$$\frac{dw}{dl} = \frac{w}{\oint \frac{\partial V}{\partial n} dl} \frac{\partial V}{\partial n}.$$

Поле, ограниченное контурами Γ_1 и Γ_2 , может быть построено весьма просто и с достаточной точностью чисто графически. При построении, как известно, необходимо добиться того, чтобы линии равного потенциала и силовые линии образовывали ортогональную сетку и чтобы отношение ширины ячейки сетки к ее длине было одинаковым для всех ячеек. Построенные таким образом линии равного потенциала и определяют расположение витков обмотки. Между любыми соседними линиями равного потенциала должно быть расположено одинаковое число витков.

На рис. 1 и 2 в виде примера показано распределение витков обмотки на сердечнике трансформатора, предназначенного для охвата шины прямоугольного сечения, расположенной рядом с другими шинами. В местах искривления сердечника его сечение увеличено настолько, чтобы напряженность поля H_2 и, следовательно, число витков на единицу длины в этих местах на контуре Γ_1 были такими же, как и на прямых участках сердечника. Это необходимо для того, чтобы при плотном расположении витков обмотки на прямых участках можно было разместить обмотку и на криволинейных участках контура Γ_1 . Некоторые витки обмотки имеют искривленную форму. Для удержания этой формы обмотка должна быть проклеена лаком. Трансформатор легко выполнить из двух половин, разнимающихся по плоскости $A-B$ (рис. 1). Однако в месте разъема нельзя допускать нарушения требуемого закона распределения витков обмотки, т. е. нельзя помещать толстого каркаса, удерживающего обмотку. Прочность обмотки в этих местах должна обеспечиваться проклейкой ее витков и слоев лаком в процессе изготовления обмотки.

¹ Л. Р. Нейман и Н. А. Голубинская. Метод измерения переменного тока и мощности в шинах при весьма большой силе переменного тока. Труды Ленинградского индустриального института, № 5, 1939.

² Плоскость XOY совпадает с плоскостью рисунка.

В случае сердечника, имеющего форму тороида, витки должны быть распределены равномерно по его длине. Всегда следует избирать эту простейшую форму, если она допускает охват проводника с измеряемым током.

Магнитная проницаемость материала сердечника должна быть постоянной. Теоретически наилучшим решением является выполнение сердечника из изолирующего материала. Практически в тех случаях, когда требуется сократить размеры трансформатора и получить достаточную э. д. с., может быть применен сердечник, спрессованный из порошкообразного железа, или сердечник, составленный из большого числа отдельных пакетов листового железа, разделенных воздушными промежутками. Опыт показал, что для сердечника в форме тороида достаточно осуществить шесть таких промежутков (рис. 3). Суммарная длина δ воздушных промежутков

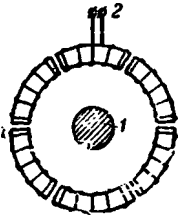


Рис. 3.

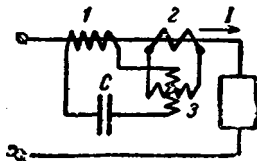


Рис. 4.

должна составлять такую часть общей длины l сердечника, чтобы магнитное сопротивление железных пакетов было значительно меньше сопротивления промежутков. Практически достаточная величина определяется из условия

$$\frac{l}{\mu} = 0,02 \frac{\delta}{\mu_0}$$

2. В указанной выше статье трансформаторы такого типа были предложены для измерения тока и мощности в сложной системе шин, рассчитанных на силу тока порядка десятков и сотен тысяч ампер, например, в подводке к электрическим печам.

О силе тока I_1 в проводнике, проходящем через окно трансформатора, можно судить по силе тока I_2 в обмотке трансформатора, замкнутой на измеритель тока. При синусоидальном токе имеем

$$I_2 = \frac{\omega M_{12}}{\sqrt{r_2^2 + \omega^2 L_2^2}} I_1 = \frac{\omega M_{12}}{z_2} I_1,$$

где r_2 , ωL_2 и z_2 — активное, реактивное и полное сопротивления всей вторичной цепи.

Коэффициент трансформации практически не зависит от формы кривой измеряемого тока при соблюдении условия $\frac{r_2}{\omega L_2} < 0,2$ для основной гармоники.

При синусоидальном токе I_1 о его силе можно также судить по э. д. с. $E_2 = \omega M_{12} I_1$, индуктируемой в обмотке трансформатора.

Подробный анализ возможных ошибок измерения произведен в отмеченной выше статье.

3. Измерительные трансформаторы рассматриваемого типа должны найти применение в метрологических лабораториях. В связи с широким развитием установок, в которых используются переменные токи весьма большой силы, в последние годы был поставлен вопрос о создании при Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологической лаборатории весьма сильных токов. В такой лаборатории в качестве основных образцовых измерительных трансформаторов тока должны быть использованы трансформаторы указанного выше типа с сердечниками из изолирующего материала. Ценность таких трансформаторов для подобной лаборатории, помимо отмеченных выше их свойств, заключается также в возможности вычислить с необходимой высокой метрологической точностью коэффициент трансформации по геометрическим размерам обмотки и оценить допускаемую при этом ошибку.

4. Трансформаторы указанного типа могут быть использованы в лабораториях и в установках высокого напряжения для контроля тока в тех случаях, когда отсутствуют постоянно установленные трансформаторы тока. Изготовив трансформатор в виде разъемного кольца, состоящего из двух частей, нетрудно его расположить у основания выводного изолятора на крышке высоковольтного трансформатора или масляного выключателя.

Трансформатор, изготовленный из массивного проводника в виде замкнутого соленоида, имеющего форму тороида достаточно большого диаметра, может быть расположен вокруг провода, находящегося под высоким напряжением. Такое

устройство может быть использовано и для измерения пульсных токов в тех случаях, когда распределенная эмф между витками соленоида не вносит существенных искажений.

5. В качестве еще одного применения трансформатора можно предложить схему для измерения потерь энергии проводов за некоторый длительный промежуток времени. В этой схеме (рис. 4) предлагаемый трансформатор используется в сочетании с обычным счетчиком энергии Σ . Напряжение к параллельной цепи счетчика берется от обмотки трансформатора и, следовательно, оказывается пропорциональным току в исследуемом проводе. Последовательная цепь счетчика включается через обычный трансформатор тока. Число оборотов счетчика оказывается пропорциональным

интегралу $\int_0^T I_2 dt$ за рассматриваемый промежуток времени

где I — действующее значение силы тока в проводе. Если известно сопротивление провода, то показание счетчика дает возможность определить потери энергии в проводе. Кондсатор C служит для получения такого сдвига фаз токов обмотках счетчика, при котором момент счетчика достиг наибольшего значения.

6. Использование трансформаторов предлагаемого типа разъемными сердечниками открывает новые весьма важные для практики возможности измерения мощности в тех случаях, когда по условиям эксплуатации не допускается или бы кратковременный разрыв цепи тока для включения измерительного прибора. Широко применяемые для измерения тока без разрыва цепи клещи Дитце не пригодны для измерения мощности, так как их угловая погрешность велика и неопределенна: она изменяется с изменением величины нагрузки. В предлагаемом трансформаторе вторичный ток так опережает первичный ток на значительный угол, равный

$$\varphi = \arctg \frac{r_2}{\omega L_2},$$

но этот угол не изменяется и, следовательно, может быть достаточно компенсирован. Для компенсации его достаточно включить последовательно с параллельной цепью ваттметра, имеющей сопротивление r , конденсатор

емкостью C которого определяется из условия $\frac{1}{\omega Cr} = \tan \varphi = \frac{r_2}{\omega L_2}$

или $C = \frac{L_2}{r_2 r}$. Эта емкость получается незначительной и ряда $1 \div 2 \mu F$. Замечательно то, что в выражение для C входит частота и, следовательно, компенсация достигается для всех гармоник. Схема включения показана на рис. 5.

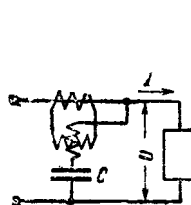


Рис. 5.

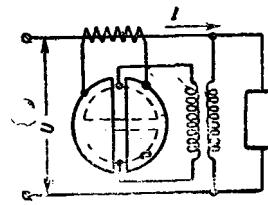


Рис. 6.

Размеры трансформатора растут при уменьшении номинального значения силы тока I_1 в исследуемой цепи и при увеличении номинальной мощности $I_2^2 z_2''$, требуемой в последовательной цепи ваттметра, имеющей сопротивление z_2'' . При заданных размерах трансформатора существует минимальное значение тока I_1 , при котором может быть получена требуемая величина $I_2^2 z_2''$. Обозначим через: R_m — магнитное сопротивление сердечника, z_0' — электрическое сопротивление обмотки при одном эквивалентном витке, имеющем сечение, равное сечению меди всех ω витков. Сопротивление обмотки при ω витках равно $z_2' = z_0' \omega^2$. Коэффициент взаимной индукции M_{12} может быть представлен в виде $M_{12} = \frac{\omega}{R_m}$

Имеем:

$$I_1 = \frac{z_2}{\omega M_{12}} I_2 = \frac{\sqrt{z_2'^2 + z_2''^2 + 2 z_2' z_2'' \cos \beta}}{\omega M_{12}} I_2 = I_2 \frac{R_m}{\omega} \sqrt{z_0' \omega^2 + \frac{1}{\omega^2} z_2''^2 + 2 z_0' z_2'' \cos \beta},$$

где β — разность аргументов комплексных сопротивлений z_2' и z_2'' .

Ток I_1 имеет минимум при $\omega = \sqrt{\frac{z_2''}{z_0'}}$ (т. е. при $\omega = z_2$), равный:

$$I_{1 \min} = I_2 \sqrt{\frac{R_m \sqrt{z_0'}}{\omega}} \sqrt{2(1 + \cos \beta)}$$

Множитель $R_m \sqrt{z_0'}$ убывает с увеличением размеров и, следовательно, веса трансформатора.

Подсчет показывает, что при использовании обычного электродинамического ваттметра трансформатор весом около 2 kg дает возможность производить измерения при $I_1 > 500$ А.

Для измерений в цепях с меньшими токами можно применить схему с электростатическим ваттметром (рис. 6). При этом трансформатор используется как устройство, преобразующее ток в пропорциональное ему напряжение. Электростатический вольтметр в его техническом выполнении требует достаточно большого напряжения, и, следовательно, трансформатор должен иметь весьма большое число витков. С

трансформатором приемлемых размеров по этой схеме возможны измерения при $I_1 > 50$ А. Для измерений в цепях с еще меньшими токами необходим ваттметр с ничтожным потреблением мощности и требующий малого напряжения. Инженером К. П. Маракулиной было предложено использовать для этой цели ламповый ваттметр и был разработан универсальный прибор, дающий возможность с помощью рассматриваемого разъемного трансформатора производить измерения мощности, тока и напряжения без разрыва цепи тока (см. в этом же номере журнала статью инж. К. П. Маракулиной). При этом с трансформатором весом менее 1 kg возможны измерения при $I_2 \geq 5$ А.

Разъемный трансформатор предлагаемого типа, изготовленный в форме клещей, в соединении с ламповым прибором может быть широко использован для быстрого контроля величины нагрузки и коэффициента мощности отдельных фидеров и электродвигателей, у которых отсутствуют постоянно установленные электронизмерительные приборы, что имеет весьма большое значение для правильной эксплуатации энергосхозяйства промышленных предприятий.

Универсальный ламповый прибор для электрических измерений без разрыва цепи тока

Инж. К. П. МАРАКУЛИНА

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

В статье предлагается электронный измерительный прибор для электрических измерений без разрыва цепи тока. Приводятся результаты экспериментальных исследований схемы, а также даются некоторые теоретические выводы и указываются достоинства новой измерительной схемы.

При практическом осуществлении мероприятий, имеющих целью снижение потерь электроэнергии и рациональное использование существующего оборудования, возникает необходимость постоянного контроля загрузки отдельных фидеров и электродвигателей. Постоянно установленных электроизмерительных приборов, необходимых для этой цели, во многих случаях не имеется. Кроме того на практике часто возникает необходимость измерять мощность в тех или иных участках электрической цепи переменного тока, в которых отсутствуют постоянно установленные измерительные приборы и трансформаторы тока. При этом в ряде случаев по условиям эксплуатации оказывается невозможным прерывать, хотя бы на короткое время, цепь тока для включения электроизмерительных приборов. В связи с этим становится особенно важной задача измерения мощности в цепях переменного тока без разрыва цепи тока.

Эта задача решается применением предложенного проф. Л. Р. Нейманом специального трансформатора, выполняемого с разъемным сердечником по типу клещей Дитце, но обладающего рядом свойств, которые делают этот трансформатор пригодным для измерения мощности. В статье проф. Л. Р. Неймана дается описание такого трансформатора. Как указывается в этой статье, для того чтобы трансформатор имел небольшие размеры при измерениях в цепях со сравнительно небольшими токами (менее 50 А), необходимо применение ваттметра, который имел бы весьма малое потребление мощности и требовал бы малого напряжения. Автором настоящей статьи по поручению проф. Л. Р. Неймана и был разработан такой прибор. При этом предлагаемый автором прибор является универсальным: при помощи его возможно измерение активной и реактивной мощности, тока и напряжения в исследуемой цепи.

Поставленную задачу можно решить применением лампового ваттметра по схеме Типперга и Мс Natar'a, в сочетании с указанным выше трансформатором тока с разъемным сердечником.

Предложенная автором схема представлена на рис. 1.

Идея схемы лампового ваттметра основана на использовании участка характеристики ламп с квадратичной зависимостью анодного тока от напряжения.

Если точка В (рис. 1) является средней точкой трансформатора, то напряжения в точках А и В относительно

точки В равны по величине и обратны по фазе. На сетку одной лампы подается сумма двух напряжений: падения напряжения на сопротивлении r , пропорционального напряжению в исследуемой цепи $k_2 u$, и половины э. д. с., индуктированной во вторичной обмотке трансформатора и пропорциональной производной тока в исследуемой цепи $k_1 \frac{di}{dt}$. На сетку второй лампы подается разность этих напряжений.

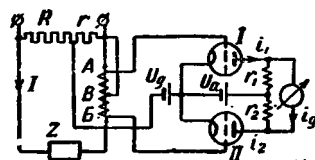


Рис. 1.

Если положить, что в качестве рабочего участка характеристики выбирается ее начальный участок и что характеристика в пределах рабочего участка имеет квадратичный вид, то, пренебрегая падением напряжения в сопротивлениях r_1 и r_2 , можно написать следующие выражения для мгновенных значений анодных токов при условии одинаковых характеристики ламп:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= a \left[U_a + \mu \left(U_g + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right) \right]^2 = \\ &= k \left[E + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right]^2, \\ i_2 &= a \left[U_a + \mu \left(U_g - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right) \right]^2 = \\ &= k \left[E - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right]^2, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где i_1 и i_2 — соответственные мгновенные значения анодных токов первой и второй ламп; U_a — постоянное анодное на-

пращение; U_g — первоначальное постоянное напряжение на сетке; μ — коэффициент усиления ламп; u и i — мгновенное значение напряжения и тока в исследуемой цепи; a — коэффициент пропорциональности,

$$k = a\mu, \quad E = \frac{U_a}{\mu} + U_g.$$

Мгновенный ток, протекающий по прибору G , определится из выражения

$$i_g = \frac{r_1 i_1 - r_2 i_2}{r_1 + r_2 + R_g}.$$

Подставив в последнее выражение значения для i_1 и i_2 из выражения (1) и приняв $r_1 = r_2 = r_0$, после преобразования получим:

$$i_g = \frac{4r_0 k k_1}{2r_0 + R_g} \left[E \frac{di}{dt} + k_2 u \frac{di}{dt} \right]. \quad (2)$$

Величину среднего тока в приборе получим путем интегрирования за период выражения (2):

$$I_g = \frac{1}{T} \int_0^T i_g dt = \frac{4r_0 k k_1}{2r_0 + R_g} \cdot \frac{1}{T} \left[E \int_0^T \frac{di}{dt} dt + k_2 \int_0^T u \frac{di}{dt} dt \right].$$

Первый интеграл равен нулю, как среднее значение простого тригонометрической функции за время ее периода. Тогда

$$I_g = c \frac{1}{T} \int_0^T u \frac{di}{dt} dt = c \omega I U \sin \varphi = c \omega P_r, \quad (3)$$

где I и U — действующие значения тока и напряжения в исследуемой цепи; φ — угол между ними; $c = \frac{4r_0 k k_1 k_2}{2r_0 + R_g}$.

Таким образом отклонение прибора при заданной частоте будет пропорционально реактивной мощности.

Выражение для среднего тока в приборе (3) получено в предположении, что характеристики ламп одинаковы и имеют квадратичный вид. На практике очень трудно, почти невозможно, соблюсти эти условия. Отступление же от принятых условий вызовет погрешность в показаниях прибора. При выводе не учитывались падения напряжения на сопротивлениях r_1 и r_2 , которые также будут вносить погрешность в измерения. Поэтому остановимся кратко на том влиянии, которое будут оказывать указанные факторы на показания прибора. Подробный анализ погрешностей схемы приведен в диссертационной работе автора «Универсальный ламповый прибор для электрических измерений без разрыва цепи тока».

Влияние отклонения характеристик ламп друг от друга. Положим, что характеристики ламп неодинаковы. Тогда выражения для мгновенных токов ламп примут следующий вид:

$$i_1 = k' \left[E_1 + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right]^2; \quad i_2 = k'' \left[E_2 - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right]^2.$$

После ряда преобразований для среднего значения тока в приборе получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{T} \int_0^T \frac{r_1 i_1 - r_2 i_2}{r_1 + r_2 + R_g} dt = \\ &= \frac{1}{r_1 + r_2 + R_g} [2k_1 k_2 (r_1 k' + r_2 k'')] \frac{1}{T} \int_0^T u \frac{di}{dt} dt + r_1 k' E_1^2 - \\ &- r_2 k'' E_2^2 + k_1^2 (r_1 k' - r_2 k'') \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{di}{dt} \right)^2 dt + \\ &+ k_2^2 (r_1 k' - r_2 k'') \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt. \end{aligned}$$

Все слагаемые в последнем уравнении, кроме первого, представляют погрешность, вызываемую неидентичностью характеристик. Два последние слагаемые можно легко исключить, подобрав сопротивления r_1 и r_2 таким образом, чтобы

соблюдалось условие $r_1 k' = r_2 k''$. Два другие слагаемых $r_1 k' E_1^2$ и $r_2 k'' E_2^2$ являются постоянными величинами и быть легко исключены при градуировке.

Влияние отклонения характеристик ламп от типичного вида. Допустим, что характеристики ламп имеют вид параболы, но показатель α параболы отличается от двух. Тогда для мгновенных значений токов можно написать следующие выражения:

$$i_1 = k \left[E + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right]^\alpha \quad \text{и} \quad i_2 = k \left[E - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right]^\alpha.$$

Перепишем последние выражения в другом виде:

$$i_1 = k E^\alpha \left(1 + \frac{k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u}{E} \right)^\alpha$$

и

$$i_2 = k E^\alpha \left(1 + \frac{-k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u}{E} \right)^\alpha.$$

Разлагая полученные выражения в сходящийся биномиальный ряд и пренебрегая членами со степенями выше четвертой после ряда преобразований (см. диссертационную работу автора) получим следующее выражение для среднего в приборе:

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{r_0}{2r_0 + R_g} \cdot 2k E^{\alpha-2} \cdot \alpha(\alpha-1) \omega k_1 k_2 U I \sin \varphi \left[1 + \right. \\ &+ \left. \frac{(\alpha-2)(\alpha-3)}{8E^2} (k_1^2 \omega^2 I^2 + k_2^2 U^2) \right]. \end{aligned}$$

Последнее слагаемое в уравнении (4) представляет погрешность. Эта погрешность при небольших отклонениях погрешности α от двух имеет порядок 0,2%, т. е. значит меньше 1%.

Влияние сопротивлений r_1 и r_2 . Учитывая падения напряжения на сопротивлениях r_1 и r_2 и считая, что $r_1 = r_2 = r_0$, можно написать следующие выражения для мгновенных значений анодных токов ламп:

$$i_1 = a \left[U_{a1} + \mu \left(U_g + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right) \right]^2$$

и

$$i_2 = a \left[U_{a2} + \mu \left(U_g - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right) \right]^2,$$

где U_{a1} и U_{a2} — постоянные напряжения между анодом первой и второй ламп соответственно.

Применяя принцип суперпозиции к анодным цепям рассматриваемой схемы, можно написать три уравнения:

$$U_{a1} = U_a - i_1 r_1 + r_0 i_g; \quad U_{a2} = U_a - r_0 i_2 - r_0 i_g;$$

$$i_g = \frac{r_0}{2r_0 + R_g} (i_1 - i_2). \quad (5)$$

Подставляя значения, полученные для U_{a1} и U_{a2} , в выражение (5) и преобразовывая последнее, получим:

$$i_1 = k \left[E + r' i_g + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u - r' i_1 \right]^2;$$

$$i_2 = k \left[E - r' i_g - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u - r' i_2 \right]^2,$$

где $r' = \frac{r_0}{\mu}$. Решая полученные уравнения относительно токов i_1 и i_2 и пренебрегая слагаемыми в степени выше 3 как ничтожно малыми, будем иметь:

$$i_1 = k \left[E + r' i_g + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right]^2 -$$

$$- 2k^2 r' \left[E + r' i_g + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right]^3,$$

$$i_2 = k \left[E - r' i_g - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right]^2 -$$

$$- 2k^2 r' \left[E - r' i_g - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right]^3.$$

Подставив выражения, полученные для i_1 и i_2 , в уравнения тока i_g , после ряда преобразований получим:

$$i_g = \frac{r_0}{2r_0 + R_g} \left\{ k \left(E + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right)^2 - k \left(E - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right)^2 - 2k^2 r' \left(E + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right)^3 + 2k^2 r' \left(E - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right)^3 + \left[2k \left(E + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right) + 2k \left(E - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right) - 6k^2 r' \left(E + k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right)^2 - 6k^2 r' \left(E - k_1 \frac{di}{dt} + k_2 u \right)^2 \right] \cdot r' i_g \right\}.$$

Средние значения за период третьего и четвертого слагаемых равны нулю. Все слагаемые в квадратной скобке представляют погрешности, вносимую падениями напряжений на сопротивлениях r_3 . Эта погрешность для ламп УБ-110, для которых $\mu = 22$, внутреннее сопротивление $R_1 = 36\ 000 \ \Omega$ и $r_3 = 2\ 000 \ \Omega$, равна около 0,6%.

Для уменьшения указанной погрешности нужно выбирать лампы с большим внутренним сопротивлением и большим коэффициентом усиления.

Помимо рассмотренных факторов на работу схемы будут оказывать влияние сеточные токи ламп. Это обстоятельство нужно учитывать при выборе типа ламп и режима их работы. Выбор рабочего режима в области отрицательных смещений делает это влияние ничтожно малым.

При неодинаковых характеристиках ламп и отклонении их от квадратичного вида величина среднего тока в приборе зависит от величины анодного напряжения и постоянного сеточного смещения, а следовательно, изменение последних будет оказывать влияние на показания прибора. Как показал эксперимент, это влияние незначительно: изменение U_a или U_g на $\pm 10\%$ вызывает изменение в показаниях прибора менее чем на 0,3%. Это положение в значительной степени упрощает вопрос питания анодной цепи, так как появляется возможность питать аноды от переменного тока через выпрямитель без стабилизатора напряжения.

Рассмотренная схема легко может быть преобразована в универсальную, позволяющую измерять активную и реактивную мощность, силу тока и напряжение. Схема универсального прибора представлена на рис. 2.

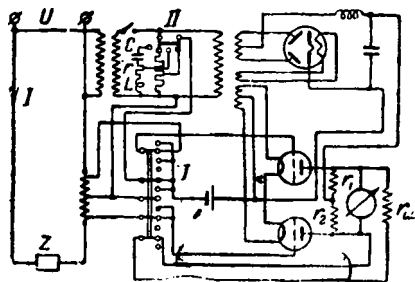


Рис. 2.

Измерение активной мощности достигается путем замены безреактивного сопротивления R последовательно соединенными емкостью C , активным сопротивлением r и индуктивностью L . Если подобрать величины C , r и L таким образом, чтобы соблюдалось условие $L = r^2 C$, то вектор суммарного падения напряжения на сопротивлении r и индуктивности L будет находиться в квадратуре с приложенным напряжением. Тогда средний ток в приборе будет равен

$$I_g = c\omega U (\sin(\varphi + 90^\circ)) = c\omega U I \cos \varphi = c\omega P.$$

Переход от измерения активной мощности к измерению реактивной мощности достигается при помощи переключателя

II. При этом переключатель I находится в среднем положении.

Перестановкой переключателя I в верхнее положение получаем возможность измерять силу тока. Положение переключателя II при этом безразлично. Действительно, для мгновенных значений анодных токов ламп в этом случае можно написать:

$$i_1 = kE^2; \quad i_2 = k \left(E + k_1 \frac{di}{dt} \right)^2.$$

После ряда преобразований для среднего значения тока в приборе получим следующее выражение:

$$I_g = c\omega^2 I^2,$$

где I — действующее значение силы тока; $c = \frac{r_0}{2r_0 + R_g} \cdot k k_1^2$.

В нижнем положении переключателя I схема дает возможность измерять напряжение в исследуемой цепи. При этом положение переключателя II будет безразлично, если коэффициент для обоих случаев измерения мощности (активной и реактивной) остается одним и тем же. Выражение для мгновенных значений анодных токов в этом случае имеет вид

$$i_1 = kE^2; \quad i_2 = k(E + k_2 u)^2.$$

После ряда преобразований получим выражение для среднего тока в приборе: $I_g = c'U^2$, где U — действующее значение

измеряемого напряжения; $c' = \frac{r_0}{2r_0 + R_g} k k_2^2$.

В качестве указывающего прибора для всех схем может быть использован один и тот же стрелочный гальванометр постоянного тока с двумя шкалами: равномерной шкалой для измерения мощности и квадратичной для измерения силы тока и напряжения. Шунт $r_{ш}$ на схеме служит для понижения чувствительности прибора при измерении мощности.

Схема универсального прибора, использующая лампы типа УБ-110, была исследована экспериментально. Полученные результаты полностью подтвердили теоретические выводы.

Теоретическое и экспериментальное исследование схемы позволяет сделать нижеследующие выводы.

1. Погрешность схемы определяется в основном следующими факторами: а) влиянием неидентичности характеристик ламп; б) влиянием отклонения характеристик от квадратичного вида; в) влиянием изменения частоты; г) влиянием высших гармоник; д) влиянием сеточных токов и е) влиянием сопротивлений r_1 и r_2 . При постоянной частоте полная погрешность схемы может быть получена меньшей 2%.

2. Большим достоинством схемы является ее универсальность, а также и возможность широкого изменения пределов измерения как в отношении силы тока, так и в отношении напряжения в исследуемой цепи.

3. Малая э. д. с., которая требуется во вторичной обмотке трансформатора, позволяет сделать трансформатор достаточно малого размера даже при малых силах тока, порядка нескольких ампер.

4. Питание вспомогательных цепей (анода и накала) может быть осуществлено от того же измерительного трансформатора напряжения, который питает параллельную цепь прибора, так как мощность, требующаяся для этого, не превышает 10 W. Поэтому для питания вспомогательных цепей не требуется специальных выводов на крышке прибора.

5. Проектирование прибора показало, что его размеры и вес примерно равны размерам и весу нормального электроизмерительного прибора. Прибор может быть смонтирован в ящике размерами $160 \times 130 \times 120$ мм. Вес его равен приблизительно 2 кг.

Указанные качества прибора позволяют рекомендовать его в сочетании со специальным трансформатором для эксплуатационных измерений в цепях переменного тока без разрыва токовой цепи.

60-летие академика К. И. Шенфера

Торжественное заседание Ученого совета Энергетического института им. Кржижановского Академии наук СССР, проведенное 7 июня 1945 г. совместно с Бюро Отделения технических наук Академии наук СССР, было посвящено 60-летию со дня рождения академика Клавдия Ипполитовича Шенфера, выдающегося ученого и изобретателя в области электрических машин.

На заседании присутствовали многочисленные представители от высших учебных заведений, научно-исследовательских институтов, народных комиссариатов, промышленности, академики, профессора, в огромном большинстве ученики академика К. И. Шенфера.

Во вступительном докладе академик В. С. Кулебакин, отмечая особые заслуги юбиляра как педагога, воспитавшего тысячи советских электриков, обрисовал роль К. И. Шенфера как ученого-электротехника, одного из организаторов Государственного экспериментального института (ГЭЭИ), Всесоюзного электротехнического института (ВЭИ), руководителя работ по электромеханике в ЭНИН и основателя московской школы электромехаников.

Юбиларом опубликовано свыше 80 работ в СССР и за границей. Из этих работ значительная часть посвящена вопросам коммутации электрических машин, причем многие из них в настоящее время уже являются классическими (метод расчета кривой реактивной э. д. с. путем наложения прямоугольников; исследование токораспределения под щеткой в зависимости от регулировки дополнительных полюсов; исследование кругового огня и коммутации при толчкообразной нагрузке и др.).

Значительное число работ К. И. Шенфера посвящено также вопросам переходных режимов синхронных машин и разработке особой системы возбуждения синхронно-индукционных машин. Широкую известность приобрели труды юбиляра по электрической тяге, а также по рекуперации электроэнергии на транспорте и в промышленности. Важное значение имеют работы К. И. Шенфера по

общим вопросам электромеханики, в том числе недавняя статья о путях развития советского электромашиностроения (в «Известиях ОТН Академии наук СССР» и в журнале «Электричество»).

Основной характерной чертой всех трудов К. И. Шенфера является тесная связь практикой, стремление дать в результате исследования конкретное улучшение, что привело юбиларна к разработке ряда изобретений.

Среди многочисленных печатных трудов К. И. Шенфера по электрическим машинам известны учебники, отличающиеся предельной четкостью изложения в сочетании с ясным физическим смыслом трактуемых явлений и вопросов.

Научная деятельность юбиляра была по достоинству оценена: в 1930 г. он был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР, а в 1932 г. — академиком. К. И. Шенфер награжден Орденом Ленина и Орденом Трудового Красного Знамени, а также удостоен Сталинской премии I-й степени.

Академику К. И. Шенферу в связи с 60-летием были адресованы многочисленные приветствия и поздравления, в том числе от Президиума Академии наук СССР и от Отделения технических наук Академии наук СССР. Кроме того были зачитаны приветствия: от академика Г. М. Кржижановского, отсутствовавшего по болезни, и от члена-корреспондента Академии наук СССР М. А. Шателена (Ленинград).

С приветственными речами выступили: академики В. П. Никитин, А. М. Терпигорев, члены-корреспонденты Академии наук СССР И. С. Браунштейн, К. А. Круг, В. И. Коваленков, В. В. Шулешов, Б. А. Телешев (ЭНИН), П. А. Свириденко (ЭНИН), М. Ф. Костров (ВЭИ), А. С. Кантер (МЭИ), А. Ларионов (МЭИ), Г. Н. Петров (МЭИ), Я. А. Козловский (журнал «Электричество»), А. Г. Иосифович (завод № 627), П. Г. Грудинский (Наркомат электротехники), Е. Ф. Комарков, Б. П. Апарин, Е. В. Нитусов, Ю. М. Галкин и ряд других товарищей.

К приему в аспирантуру Академии наук СССР

Академия наук СССР в текущем году проводит расширенный прием в докторскую и кандидатскую аспирантуру в следующие институты Академии наук СССР: 1. Физический им. Лебедева (Москва, 3-я Миусская, 3); 2. Физико-технический (Ленинград, 21, Срсновка, д. 2); 3. Физических проблем (Москва, Калужское шоссе, 32); 4. Кристаллографии (Москва, Старо-Монетный пер., д. 35); 5. Теоретической геофизики (Москва, Пятницкая, 48); 6. Сейсмологический (Москва, 17, Пыжевский пер., 3/5); 7. Морская гидрофизическая лаборатория (Москва, Бол. Калужская, 19); 8. Металлофизики и металлургии Уральского филиала Академии наук СССР (г. Свердловск, Втузгородок).

Прием в докторскую аспирантуру производится по конкурсу на основании оценки качества научных работ поступаю-

щего и проверки знаний по двум иностранным языкам; обязательно представление плана докторской диссертационной работы.

Поступающие в кандидатскую аспирантуру подвергаются приемным испытаниям по специальным дисциплинам, диалектике и историческому материализму и одному из иностранных языков.

Прием заявлений и вступительные экзамены проводятся с 1 августа по 1 декабря 1945 г., заявления и документы подаются на имя директора соответствующего института.

Отдел аспирантуры Академии наук СССР (Москва, Б. Калужская, д. 14, тел. В 2-00-00, доб. 40) располагает всеми необходимыми для поступления сведениями об институте Академии наук, об условиях приема и прохождения аспирантуры.

Во Всесоюзном научном инженерно-техническом обществе энергетиков

К итогам Всесоюзного соревнования ВНИТО

На заседании Оргбюро ВНИТОЭ было заслушано сообщение о решении жюри ВСНИТО по итогам всесоюзного социалистического соревнования.

Третья премия в сумме 5 000 руб. присуждена ячейке МОНИТОЭ канала Москва-Волга (председатель А. М. Румянцев, ученый секретарь В. И. Яранцев).

За высокую творческую инициативу, проявленную при общественной разработке актуальных научно-технических вопросов, выданы почетные грамоты инж. А. С. Горшкову, кандидату техн. наук Г. А. Сисояну, инж. А. А. Тайцу и инж. М. И. Шепетильникову.

Жюри отметило большую активность в деле развертывания общественной научно-технической деятельности, проявленную председателем ВНИТОЭ членом-корр. Академии наук СССР, проф. М. А. Шателеном и председателем Узбекского отделения ВНИТОЭ инженером А. С. Саид Ходжаевым.

Лучшие отделения, секции и ячейки ВНИТОЭ. Заместитель председателя ВНИТОЭ инж. А. С. Румянцев информировал Оргбюро об итогах соревнования отделений, секций и ячеек ВНИТОЭ.

В своем решении Оргбюро отметило, что лучше и успешнее всех работали Азербайджанское отделение (председатель В. С. Ермаков), Узбекское (председатель Саид-Ходжаев) и Башкирское отделение (председатель В. А. Лифшиц).

Азербайджанскому отделению, как лучшему, присуждено Красное переходящее знамя ВНИТОЭ. Грамотами ВНИТОЭ награждены: отделения Башкирское и Узбекское, а также ячейка грэс им. Красина (председатель т. Б. П. Рухованов), ячейка канала Москва-Волга (председатель т. А. М. Румянцев), ячейка АзФАН (председатель К. Н. Кули-Заде), ячейка АЗНИТОЭ «Красная звезда», ячейка Ягрэс.

Персональными грамотами за активную работу в трудных условиях блокады Ленинграда награждены председатель Ленинградского отделения ВНИТОЭ инж. С. В. Усов и проф. В. Н. Шретер.

Премиированы за успешную работу бюро электрической изоляции председатель доцент Ю. В. Корицкий, в сумме 3 000 руб. и бюро секции водоподготовки (председатель М. С. Шкроб) в сумме 2 000 руб.

Социалистическое соревнование членов ВНИТОЭ. В целях дальнейшего развития творческой инициативы, выявления научно-технических работ, представляющих интерес в научном или техническом отношении, Оргбюро утверждено положение о социалистическом соревновании членов общества.

Положение предусматривает представление работ, выполненных специально для конкурса или выполнение в порядке производственной или научно-технической деятельности их авторов. Работы могут быть выполнены членами общества, индивидуально или коллективно, по любой теме из области энергетики или энергопромышленности.

За лучшие работы присуждаются денежные премии: одна первая премия — 5 000 руб., две вторых премии по 3 000 руб., две третьих премии по 2 000 руб.

Лицу или коллективу, получившему по конкурсу первую премию, кроме денежной премии выдается бронзовая настольная медаль.

Бюллетень «Электропромышленность». На одном из последних заседаний Оргбюро ВНИТОЭ был обсужден план работы на 1945 г. редколлегии бюллетеня «Электропромышленность», издаваемого Ленинградским домом техники.

В обсуждении доклада редактора бюллетеня т. С. А. Сливов приняли участие многие члены Оргбюро.

Инж. Е. Г. Комар, отметив большое значение такого бюллетеня для ленинградской электропромышленности, указал на существенный его недостаток, заключающийся в том, что бюллетень посвящен только вопросам электротехники слабых токов. На этот же недостаток указал и проф. В. К. Попов, который обратил также внимание Оргбюро на необходимость коренного пересмотра тематического плана бюллетеня, с привлечением к обсуждению специалистов и профессорско-преподавательского состава вузов. Бюллетень «Электропромышленность» имеет все основания развиваться в объеме и тираже, говорит т. Румянцев, — он должен стать трибуной для обмена техническим опытом ленинградских за-

водов электропромышленности. Член-корр. Академии наук СССР, проф. М. А. Шателен отметил необходимость реорганизации редколлегии бюллетеня.

В своем решении Оргбюро ВНИТОЭ указало, что тематический план бюллетеня «Электропромышленность» на 1945 г. должен способствовать широкому обмену научно-техническим опытом, в нем должны найти отражение интересы всей электропромышленности Ленинграда. Оргбюро рекомендовало редакции Дома техники пересмотреть состав редколлегии и ввести в нее представителей общественности и предприятий электропромышленности сильных токов.

Новые отделения и ячейки ВНИТОЭ. Инициативная группа энергетиков Калининэнерго и промышленных предприятий гг. Калинин и Саратова обратилась с ходатайством об открытии в указанных городах отделений ВНИТОЭ.

Приветствуя инициативу энергетиков и учитывая большое значение саратовской и калининской промышленности, Оргбюро постановило открыть в Калинин и Саратове городские отделения ВНИТОЭ.

Организация секций, комитетов, бюро. При ВНИТОЭ организованы следующие секции, комитеты, бюро:

Комитет газификаций — председатель инж. Г. С. Вольпе. Секция промэнергетики (электротехническая часть) — председатель проф. С. А. Пресс.

Секция промэнергетики (теплотехническая часть) — председатель проф. В. Н. Шретер.

Секция гидроэнергетики — председатель проф. А. А. Морозов.

Секция светотехники — председатель проф. П. М. Тиходеев.

Секция электротермии — председатель проф. В. П. Вологдин.

Секция теплофикации — председатель Е. Ф. Бродский. Бюро электроизоляции — председатель доц. Ю. В. Корицкий.

Секция водоподготовки — председатель М. С. Шкроб.

Цикл лекций для членов ВНИТОЭ в Ленинграде. ВНИТОЭ наметило провести цикл научно-технических докладов и лекций для членов общества в Ленинграде. В ближайшее время с докладом «Гидроэнергетика Ленинградской области» выступит проф. А. А. Морозов; тема доклада проф. В. В. Болотова «Роль гидроэнергетики для г. Ленинграда»; доклад о «Газоснабжении Ленинграда и области» сделает инж. Г. С. Вольпе.

С докладами выступают также проф. Л. А. Мелентьев «Основные принципы теплофикации Ленинграда», проф. А. М. Залесский «Аппаратура для оборудования станций и сетей Ленинградской области», проф. Л. В. Гринберг «О типах паровых турбин, в частности о турбинах высокого давления для станций Ленинградской области».

В Азербайджанском отделении ВНИТОЭ. Отделение общества разработало обстоятельный и конкретный план на текущий год, к выполнению которого уже приступлено.

Бригада членов ВНИТОЭ под руководством инж. А. Г. Теймуразова и др. занята составлением истории развития энергетики г. Баку; бригада под руководством инж. Б. А. Зудина (грэс «Красная звезда») ведет исследование работы пароперегревателей в целях увеличения их надежности путем принудительного перераспределения потоков пара и дымовых газов.

В текущем году АЗНИТОЭ должно оказать широкую техническую помощь энергохозяйству Азербайджана и организовать обмен передовым опытом борьбы за экономию топлива и электроэнергии. Намечено провести конференцию энергетиков г. Баку по итогам социалистического соревнования промпредприятий в деле экономии электроэнергии. Будет проведена также вторая конференция оперативного персонала системы Азэнерго с участием потребителей; созывается конференция по экономии топлива и электроэнергии на собственные нужды по предприятиям Азэнерго.

В текущем году предполагается проведение общественного осмотра энергооборудования в системе Азэнерго и на ряде других предприятий.

Выборы правления и оргбюро отделений ВНИТОЭ. Председатель Оргбюро ВНИТОЭ, член-корр. Академии наук СССР, проф. М. А. Шателен обратился с письмом ко всем председателям правлений отделений ВНИТОЭ, где пишет:

«В соответствии с уставными требованиями, Оргбюро считает необходимым провести в 1945 г. выборы состава правления и пере выборы Оргбюро всех отделений, поскольку сроки полномочий правления и оргбюро истекли. Проведение указанной работы важно еще и потому, что оно еще больше должно привлечь внимание членов общества к тем вопросам, которые стоят в плане деятельности общества. Организационное укрепление общества позволит дальнейшему улучшению работы ВНИТОЭ и позволит выявить актив, который нужен для решения задач общества и оживления работы его руководящих органов».

Конференции-курсы по электроприводу. ВНИТОЭ начало подготовку к проведению в ближайшее время конференций-

курсов по электроприводу текстильных и бумажных предприятий. Цель конференций — помочь промышленным предприятиям связи с переходом к условиям мирного времени, в лице работы существующих электроприводов, используя опыт, накопленного в дни Отечественной войны, а новых технических достижений.

В работах конференций примут участие помимо работников предприятий, изготовляющих электроприводы и работающих в промышленности, научно-технические советы наркоматов, научные сотрудники научно-исследовательских институтов.

В сентябре намечено проведение конференции по стальному электроприводу в г. Иванове; в июле — в Л. граде по электроприводу в судостроительной и бумажной промышленности. С докладами выступят профессора В. Попов, С. А. Ринкевич, С. А. Пресс.

Ижж. А. С. Румян

БИБЛИОГРАФИЯ

«СТРАНА ПЭЭФ»

Г. БАБАТ. СТРАНА ПЭЭФ. Молодая Гвардия, 110 стр., 1944, тираж 50 000, цена 5 руб.

Несколько замысловатое название рецензируемой книги имеет целью привлечь внимание читателей отнюдь не к сказочной, выдуманной стране, а к вполне реальному миру электротехники, без которой немислима современная материальная культура. В названии подразумеваются два электротехнических символа: P — мощности и f — частоты. Празда, этих двух символов явно недостаточно для характеристики той картины, которую автор пытается изобразить в своем очерке, так как с первых же страниц ему пришлось оперировать еще двумя: E и I — напряжение и сила тока, без которых, разумеется, никакое изображение мира электротехники невозможно.

В качестве оригинального путеводителя к описываемой им стране автор приложил две карты — карту в координатах Pf и карту EI , на которых показаны примеры применения мощности — от тысячных долей ватта до сотен тысяч киловатт, частоты — от нескольких единиц до миллиардов герц, напряжения — от миллионных долей до миллионов вольт и силы тока — от миллионных долей до сотен тысяч ампер.

Книга состоит из ряда глав — очерков; в них в занимательной форме освещаются история, нынешнее состояние, роль и значение различных областей электротехники. Так, автор повествует об изобретении электрического освещения, развитии электроракуумной техники, применении токов высокой частоты и т. д.

Необходимо отметить, что попытки своеобразно «беллетризовать» сочинения по электротехнике, — их, правда, было немного, — восходят еще к ранним этапам электротехники. Можно указать, например, на произведение одного из пионеров русской электротехники В. Н. Чиколева «Не было, но и не выдумка». Г. И. Бабат применяет таким образом интересный прием популяризации знаний, основанный на использовании материалов достоверных исторических событий. Этим видом литературы могут пользоваться широкие круги читателей, которые с удовлетворением узнают о вкладах, сделанных русскими учеными и изобретателями в общемировое дело электротехники.

Однако автор решительно не соблюдает чувство меры в применении занимательной формы повествования об историческом развитии электротехники. Так, в главе, называемой «История электросварки», Г. И. Бабат сосредотачивает внимание на забавных подробностях судебной тяжбы между изобретателями электросварки и их полемики по вопросу о том, какой способ электросварки следует применить для восстановления царь-колокола. В результате труды и значение выдающихся пионеров этой важной отрасли электротехники — Н. Г. Славянова и Н. Н. Бенардоса — представляются в чисто юмористическом свете, что наверно не входило в задачи автора книги.

Очевидно, что занимательная форма в научно-популярном сочинении должна умело сочетаться с серьезным существом содержания.

Каждая глава книги Г. И. Бабата заканчивается заключением в несколько строк, выделенных из текста и набранных

курсивом. Этот принцип выдержан во всей книге, даже тогда когда эти концовки отнюдь не являются логическим выводом или обобщением, вытекающим из данной главы. Например, разделе «Доисторический период» автор не столько рассказывает об истоках знаний в области электричества, сколько иронизирует над теми, кто историческое рассмотрение не нает со сведений, сохранившихся в литературных памятниках древности и средневековья. Правда, автор подчеркивает, с другой стороны, электротехника не начинается и со времени опубликования теории движения электронов; он считает началом электротехники вторую половину прошлого столетия, когда были завершены труды Ампера, Ома и Фарадея.

Концовка же к этой главе следующая: «Двести лет назад мы смогли бы населить карты страны ПЭЭФ токами молниями, северным сиянием, огнями святого Эльма и иными, возникающими при поглаживании черного кота». Так автор «обобщает» весь поучительный и наполненный историческими фактами «доисторический период» электротехники.

Нельзя назвать удачными и названия некоторых глав. Например, глава, в которой рассказывается о фактах из начальной истории практического применения переменного тока, называется «Фельдмаршал переменного тока». Помимо едва уместного в данном случае употребления термина «фельдмаршал», неизвестно, кто им, собственно, является; в этом деле речь идет главным образом о том, что такой новатор, как Эдисон, оказался консервативным в деле применения переменного тока и отстаивал преимущества тока постоянного.

К сожалению, в книге Г. И. Бабат имеются и досадные ошибки. Отметим, например, что автор, проявивший определенные знания в истории электротехники и знакомый с жизнью и деятельностью ее творцов, почему-то утверждает, что после того как Эдисон оказался неправ, оставшаяся его позиция, он вообще забросил электротехнику и до самой смерти избегал заниматься ею. Это совершенно неверно. Даже без более знакомого с патентами знаменитого американского изобретателя свидетельствует как раз о противоположном. У него, хотя бы на известные работы Эдисона над проблемой аккумулятора, относящиеся к довольно позднему периоду его жизни. О них автор даже не упоминает в главе «Коммунальное электричество».

Далее, автор, повидимому, отождествил Томсона (Вильяма) и Сильвануса Томпсона. Такое впечатление создается, когда автор, говоря (на стр. 38—39) о некоторых работах крупнейшего английского физика Томсона (лорда Кельвина) имеющего, несомненно, большие заслуги перед электротехникой, именуется несколько раз Томпсоном, чье имя принадлежит другому выдающемуся электротехнику конца прошлого и начала нынешнего столетия.

В заключение следует сказать, что отмеченные недостатки снижают полезность этой книги, которая таким образом не выдерживает высоких требований, предъявляемых научно-популярной литературе.

М. И.

Электротехника и электрохозяйство за границей

Особенности гидроэнергостроительства в странах Северной Америки за годы войны

(обзор)

Интенсивное развитие военной промышленности в США и в Канаде, в том числе значительное расширение энергоемких производств, в немалой степени определяется повышенными темпами строительства за последние годы новых крупных гидроэлектростанций. Так ежегодный ввод почти исключительно государственных и муниципальных гидроэлектрических мощностей в 1942—1943 гг. превышал 1 млн. кВт, в то время как в предвоенные годы он составлял около 300—400 MW.

Особо следует отметить сооружение в Тихоокеанских Штатах США на р. Колумбии первой очереди крупнейшей в мире гидроэлектростанции Гранд-Кули в 2 млн. кВт и ввод ее полную мощность на той же реке гидроэлектростанции Бонневиль в 554 тыс. кВт; сооружение в Калифорнии плотины и гидроэлектростанции Шафта в 375 тыс. кВт на р. Сакраменто и гидроэлектростанции Пит № 5 в 160 тыс. кВт; пуск группы мощных государственных гЭС в долине реки Теннесси (TVA) на 1 635 тыс. кВт суммарной мощности; создание в Канаде на р. Сегеней одной из самых экономичных гидроэлектрических установок—гЭС Шипшоу № 2 в 885 тыс. кВт.

Военная обстановка не могла не сказаться весьма существенно на особенностях строительства гидроэлектростанций, составляла иногда принимать решения характера форс-мажор.

Временное использование агрегатов. Вследствие высокой загрузки военными заказами заводов тяжелого машиностроения в ряде случаев представлялось целесообразным использовать не по назначению уже построенные гидроэлектрические агрегаты, временно устанавливая их на тех государственных гидроэлектростанциях, которые по условиям военного производства необходимо было ввести в первую очередь. Иногда при этом вследствие несовпадения расчетных начоров и физических размеров агрегатов имело место некоторое снижение проектной мощности гидроэлектрических станций.

Так, в результате установки двух агрегатов, предназначенных для гЭС Шафта в трех турбинных блоках гЭС Гранд-Кули мощность западного машинного зала последней гидроэлектростанции оказалась сниженной с 972 MW до 798 MW, т. е. на 18%. Два агрегата по 65 MVA, построенные для введенной в 1943 г. гидроэлектростанции Шипшоу № 2, были дополнительно использованы на расширенной в 1942 г. гЭС Шют-а-Карон. На гидроэлектростанции Дуглас (TVA) монтирован агрегат, ранее предназначавшийся в качестве резервного для гЭС Чероки.

Ограничения технологического характера. Изготовление некоторых основных деталей для гидроэлектрических агрегатов большой мощности, в том числе, например, главного вала, во время войны не всегда могло быть обеспечено вследствие повышенной загрузки оборудования машиностроительных заводов и средств транспорта. Поэтому выбор мощности электрических генераторов и турбин для гидроэлектростанций в ряде случаев ограничивался условием, чтобы диаметр вала не превосходил известного предела.

Вследствие трудности получения крупных стальных отливок последние заменялись конструкциями из листовой стали. Так, спиральная камера турбин Шафта по 103 тыс. л. с. при напоре более 100 м выполнена из прокатанных стальных листов, соединенных заклепочными швами, что является крупнейшей конструкцией этого рода. На гЭС Пит № 5—полностью сварная спиральная камера из листовой стали, также единственная из осуществленных для весьма мощных турбин в 50 тыс. л. с. при высоком напоре 192 м.

Вследствие недостаточной жесткости конструкции сварной камеры оказалось недопустимым монтировать на ней сервомоторы турбин, как это обычно делалось при литых спиральных.

Сроки строительства крупных гидроэлектростанций в соответствии с задачами электроснабжения в условиях войны оказались необходимым резко сократить.

Так, гЭС Шипшоу № 2 была сооружена за 2,5 года, в то время как, например, строительство гЭС Болдер-Дам проектировалось завершить в 7 лет, хотя в действительности срок этот был сокращен до 5 лет. В пиковый период на

строительстве гЭС Шипшоу № 2 работало 10 140 чел., почти вдвое больше, чем при сооружении гЭС Боулдер-Дам.

Передача и распределение энергии. В области передачи и распределения энергии, получаемой от гидроэлектростанций, наблюдался ряд ограничительных моментов.

Затруднения военного времени заставили резко ограничить строительство новых линий электропередачи и максимально использовать существующие высоковольтные сети. Так, для гидроэлектростанции Пит № 5, потребители которой расположены от нее в расстоянии 420 км, вместо строительства новой линии стоимостью 6 млн. долларов временно используются со значительной перегрузкой существующие электропередачи, что позволило на 85% сократить предусмотренные проектом первоначальные затраты.

Весьма крупные мощности, передаваемые от гидроэлектростанций 230 kV линиями, как правило, экономически вполне оправдывают применение стальных башенных опор, позволяющих сократить все виды аварий на опорах: в результате лесных и степных пожаров, разрядов молнии, обрыва проводов и т. д. Однако в военные годы из-за дефицитности сортового металла 230 kV электропередачи от гидроэлектростанций Шафта, Пит № 5 и других широко строились на деревянных опорах, конструкция которых в США уже достаточно установилась.

Представляет интерес кратко остановиться на особенностях строительства некоторых крупных американских гидроэлектростанций, вновь сооруженных или расширенных за годы войны.

Гидроэлектростанция Шипшоу. Мощную электроэнергетическую систему Сагеней (Канада), возникшую в военное время и питающую в настоящее время крупнейший алюминиевый завод, образуют три гидроэлектростанции: Айл-Мэлин—12 агрегатов по 35 MVA, Шипшоу № 1 (Шют-а-Карон)—4 агрегата по 50 MVA и Шипшоу № 2, построенная в 1941—1943 гг.—10 агрегатов по 75 MVA и 2 агрегата по 65 MVA.

Электростанции на р. Сагеней—одни из самых мощных в Канаде в части гидро- и электрооборудования—характеризуются целым рядом интересных и существенных особенностей.

Впервые для крупнейших турбин Френсиса в 100 000 л. с. применена электросварка не только всей стальной спиральной камеры, но и осуществлена приварка спиральной к входным кольцам турбины.

Система электропередачи, соединяющая генерирующие установки с главной потребительской подстанцией, состоит из 154 kV двух цепных линий на мегаллических опорах. Центральные сборные 154 kV шины системы размещены на подстанции алюминиевого завода Арвид, который расположен в 6,4 км от гЭС Шипшоу № 1 и в 3,2 км от гЭС Шипшоу № 2.

Питание алюминиевого завода электроэнергией от гидроэлектростанций осуществлено по принципу блочной передачи.

На подстанции Арвид в целях снижения kVA короткого замыкания и соответственно разрывной мощности выключателей шины высокого напряжения, к которым присоединены 16 входящих линий и 15 отходящих фидеров, подразделены на 3 независимых секции; нейтрали со стороны высокого напряжения наглухо заземлены только в одной трансформаторной группе каждой секции.

Необычное применение на гЭС Шипшоу № 2 весьма высокого напряжения 154 kV для передачи электроэнергии на очень небольшое расстояние 3,2 км объясняется тем, что в данном случае целесообразно было принять только одно из двух напряжений—154 kV или 132 kV—вследствие наличия на месте уже готового 154 kV устройства. Напряжение 132 kV могло бы быть применено, если бы не требовалось передавать весьма крупную мощность около 1 млн. л. с. по трассе, включающей ответственное пересечение широкой реки воздушным пролетом в 480 м.

Капиталовложения для рассматриваемых вариантов электропередачи отличаются мало, но затраты цветных металлов для случая генераторного напряжения 132 kV была бы в

5,8 раз большей, что в условиях войны заставило остановиться на напряжении 154 kV. Вследствие того что на алюминевом заводе мощность каждого токоприемника—электродлитических ванн—составляет 60—70 MW, представилось целесообразным принять агрегаты гэс Шиншоу № 2 на ту же мощность.

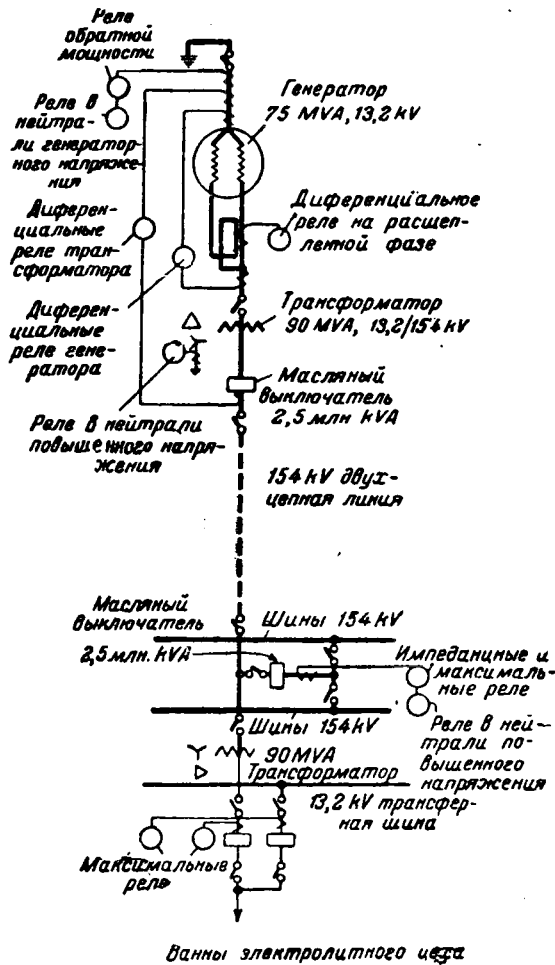


Схема блока

На рисунке показана схема блока: электрический генератор—повысительный трансформатор—масляный выключатель на гидроэлектростанции Шиншоу № 2—линия передачи до завода Арвид—прямое присоединение без выключателя высокого напряжения, к 154/13,2 kV понизительному трансформатору—присоединение через разъединитель и выключатели пониженного напряжения к 13,2 kV трансферной шине на подстанции завода.

Мощность трехфазных гидрогенераторов—75 MVA, 13,2 kV, восемь параллельных цепей на фазу 60 Hz, 128,6 об/мин, температура 60°C в условиях полной нагрузки. Генераторы могут при снятом возбуждении безопасно развигать 244 об/мин. Главный и вспомогательный возбуждители смонтированы на свободном конце вала каждого генератора. Для одного из генераторных опорных подпятников вследствие трудностей с получением олоза в порядке эксперимента применен баббит, приготовленный из мышьяковистого свинца, хорошо оправдавший себя в эксплуатации.

Генераторы в 75 MVA выполнены двух типов—А и В. Генераторы типа А характеризуются звездообразной верхней крестовиной обычной конструкции с полупущенной масляной ванной; ротор—стандартный с отлитым колесом. Для генераторов несколько необычного исполнения типа В в качестве несущей конструкции применена мощная мостовая балка при полностью опущенном масляном баке подпятника; ротор целиком сварной конструкции, что позволило вдвое уменьшить вес обода, спиц и втулки.

В табл. 1 приведены некоторые сравнительные показатели для генераторов типов А и В.

Для генераторов типа В, как видно из таблицы, оказалось возможным ценой снижения к. п. д. на 0,5% весьма

Показатели	Типы генераторов	
	А	В
Вес в т:		
Колеса ротора	55,2 — 100%	27,2 — 49%
Железа статора	65,5 — 100%	56,7 — 87%
Меди ротора	41,0 — 100%	24,0 — 58%
Меди статора	15,2 — 100%	17,7 — 116%
Потери в kW в:		
статоре	244 — 21%	199 — 13%
роторе	110 — 9%	125 — 8%
железе при разомкнутой цепи	290 — 25%	455 — 30%
то же при коротком замыкании	190 — 17%	220 — 14%
потери вентиляционные и трения	325 — 28%	555 — 35%
Всего потери	1 159 — 100%	1 561 — 100%
к. п. д. генератора	98,48%	97,98%

значительно—на 30%, с 59,5 t до 41,7 t,—уменьшить в меди, что очень важно в условиях военного времени. Таким образом на основе меди, затрачиваемой в 5 машин типа А можно было бы изготовить 7 электрических генераторов типа В. Кожухи всех 12 гидрогенераторов впервые выполнены квадратными в плане со стороной 11 m при высоте 3,9 m. Срок монтажа одного генератора составлял в среднем 32 дня и минимум 61 день.

В электроэнергетической системе, в которой работают Шиншоу, установлено около ста 30-MVA, 13,2/154 kV трансформаторов, причем большая часть из них изготовлена одной фирмой. Поэтому и в данном случае представилось целесообразным принять трансформаторы таких же типа и мощности. Трансформаторные группы со стороны 13,2 kV соединены треугольником, а со стороны 138,5—162 kV—звездой. Нейтрали со стороны повышенного напряжения на генерирующих установках наглухо заземлены. Трансформаторы доставлены двумя фирмами А и В при соблюдении непеременимого условия, чтобы один трансформатор одного из заводов был удовлетворительно в трехфазной трансформаторной группе с двумя трансформаторами другого завода. Максимальный к. п. д. трансформаторов при 50% нагрузки составил 99,37% (А) и 99,38% (В).

Структура веса двух типов трансформаторов дана в табл.

Таблица

Вес в т	Типы генераторов	
	А	В
Масло	17,6—32%	23,6—47%
Сердечники и катушки	26,7—48%	26,8—43%
Бак и арматура	10,9—20%	12,7—20%
Всего	55,2—100%	63,1—100%
Общий вес на 1 MVA	1,84	2,10

Расчетные параметры масляных выключателей—161 kV и 600 A, разрывная мощность 2,5 млн. kVA; фазы всех 12 выключателей помещены в отдельных масляных баках.

В целях защиты металлических затворов гидростанции от обледенения в условиях низких наружных температур каждый из затворов оборудован шестью 2,5 kW, 160 V электрическими обогревателями, которые по даж включены последовательно в каждую фазу 550 V трехфазной сети.

Гидроэлектростанция Шафта (Shasta) крупнейшая в центральной долине Калифорнии (США) (установленная мощность 375 MW в 5 агрегатах) сооружена в годы войны на площадке высотой 175 m, создающей на р. Сакраменто грандиозное оросительное водохранилище емкостью 5,5 млрд. м³.

Гидростанция предназначена питать каскад электростанционных установок в долине р. Сан-Хоакин, а также снабжать энергией промышленных и коммунально-бытовых потребителей в штате Калифорния.

Вертикальные турбины Фрэнсиса в 103 тыс. л. с., 60 об/мин, при расчетном напоре в 100 м характеризуются максимальным к. п. д.—91%. Главные трехфазные генераторы по 75 MVA при $\cos \varphi = 1$, 60 Hz, 13,8 kV; $D=14 \cdot 200 \text{ mm}^2$, с возбудителями на свободном конце шкива. Максимальная температура обмоток ротора и статора в условиях длительной работы генератора номинальной мощностью не превышает 100°C при температуре поступающего воздуха 40°C. В охлаждающих каналах активного железа статора помещены особые направляющие поверхности, создающие плавные изменения движения охлаждающего воздуха и снижающие этим путем потери сопротивления. Обмотки статора, соединенные звездой, допускают работу как при замкнутой, так и при незаземленной нейтрале. Температурные реле, установленные в полость замкнутой системы воздушного охлаждения, предназначены посылать предупредительные сигналы и должны автоматически вводить CO_2 в генератор при появлении пламени. Автоматически регуляторы напряжения реагируют на 0,5%, изменение напряжения генератора и действуют уже через 0,05 сек после отклонения напряжения генератора на 1,5% от нормального.

Опорная пята генератора пружинного типа помещена над статором. Пневматические тормоза останавливают вращающуюся часть агрегата с половинной скоростью в течение 15 мин.

Каждый генератор питает непосредственно группу из трех 5-MVA трансформаторов с напряжением—13,6 kV/132,8 kV—групповик /230 kV—звезда. Расчетная максимальная температура трансформаторов—80°C в условиях длительной работы номинальной мощностью при 25°C охлаждающей воды. Оборудование для автоматической подачи инертного газа в трансформатора под избыточным давлением 0,35 kg на cm^2 монтировано на баках.

Схемы автоматизации и защиты гЭС Шаста характеризуются общей тенденцией избежать изменений особенно сложной эксплуатации и менее обязательных электрических устройств в соответствии с уже накопившимся ценным опытом в этом отношении гидроэлектростанций Болдер-Дам и Гранд-Кули.

Гидроэлектрические агрегаты первоначально запускаются с собственных щитов регулирования и контроля, после чего управление передается на главный пульт, откуда производится синхронизация и последующая нормальная эксплуатация машин.

Пульт гидроэлектростанции оборудован новейшим автоматическим устройством регулирования частоты (time—frequency control). ГЭС Шаста—вторая электростанция в США, на которой применены трансформаторы тока с 1 А вторичной обмоткой в целях уменьшить нагрузку вторичной цепи при значительном расстоянии в 600 м от гЭС до 230 kV подстанции.

Местные нужды гидроэлектростанции снабжаются от двух турбинных генераторов по 2,5 MW или от 2,5 MVA трансформатора, питающегося от отдельных 13,8 kV шин. Последние могут быть присоединены к одному из главных генераторов с помощью выключателей, заблокированных таким образом, что параллельная работа агрегатов на стороне 13,8 kV невозможна. Здание гЭС Шаста является самообслуживающейся производственной единицей, включающей мастерскую, установку для испытания и очистки масла, чертежную, лабораторию, котлоруд, электрическую кухню и лифт.

Передача энергии гЭС Шаста осуществляется по одноцепной 230 kV линии длиной 160 km, как уже отмечено, выполненной на деревянных опорах. Линия питает 230 kV сеть электроснабжающей системы Pacific Gas and Electric Co через две подстанции: Шаста на 45 km от гидроэлектростанции и Оловиль — в конце линии электропередачи. На повысительной подстанции гЭС Шаста установлено четыре восьмипериодных масляных выключателя, каждый на разрывную мощность 1500 MVA; на подстанции Шаста 230 kV сеть питается от линии через пятипериодный выключатель той же разрывной мощности. На опорах 230 kV линии подвешен голый кабель марки ACSR сечением 400 mm^2 ; преобладающая длина пролета—210 м и высота деревянной опоры—20 м.

Гидроэлектростанция Кэсвик. Приплотинное водохранилище гидроэлектростанции Кэсвик (Keswick), расположенной в нескольких км ниже гЭС Шаста по течению реки Сакраменто, предназначается создавать равномерный водный режим после турбин гЭС Шаста и тем допускать возможность широкого суточного регулирования последней. При уже построенной плотине Кэсвик сооружается гЭС мощностью 75 MW в трех агрегатах.

Общая годовая выработка гидроэлектростанций Шаста и Кэсвик составляет 1,5 млрд. kWh, что отвечает 3 300 h годового использования их суммарной установленной мощности—450 MW.

Гидроэлектростанция Пит-Ривер № 5. В апреле 1944 г. вступила в строй деривационная гидроэлектростанция Пит-Ривер № 5, (Pit-River), одна из крупнейших в штате Калифорния (США); ее мощность составляет 160 MW, напор—180 м, проектная годовая выработка—836 млн. kWh. ГЭС Пит № 5 является 52-й по счету и самой крупной гидроэлектростанцией в системе Pacific Gas and Electric Co, суммарная мощность гидроустановок которой достигает 1 082 MW.

Пиковая мощность гЭС Пит № 5 в 1944 г. должна была составлять 150 MW, или 10% от пика системы. Основная энергетическая задача рассматриваемой гЭС—питать военную промышленность в районе залива Сан-Франциско и Северной Калифорнии. ГЭС оборудована четырьмя агрегатами с вертикальными турбинами Фрэнсиса по 50 тыс. л. с., 300 об/мин, приводящими трехфазными генераторами 40 MVA, $\cos \varphi = 0,8$, 11,5 kV.

Установленная мощность гидроэлектростанции близко соответствует предельной пропускной способности одной из двух 230 kV цепей линии электропередачи.

С целью избежать нежелательного случая передачи всей энергии, получаемой от гидроэлектростанции, по одной цепи и для устранения обязанности параллельной работы двух цепей линии на генераторном их конце—принята электрическая схема с подразделением четырех генераторов гидроэлектростанции на две совершенно независимые группы.

Таким образом в данном случае осуществлена система блоков, включающих два генератора по 40 MW—группа трансформаторов мощностью 81 MVA 11,5/230 kV—цепи 230 kV линии передачи.

Параллельную работу в особых случаях возможно осуществлять только на стороне 230 kV, что позволяет отказаться от установки на генераторном напряжении дорогого масляного выключателя на 5 000 А разрывного тока. Блочная схема коммутации имеет целью улучшить условия электрической устойчивости в части системы, примыкающей к отправному концу линии. Одновременно повышается надежность электроснабжения и снижается влияние выпадения цепей линий передачи на режим прочих электростанций системы. Кроме того важно, что в случае выхода из строя только половины мощности гидроэлектростанции Пит № 5 в меньшей степени нарушается хорошо зарегулированный водный режим используемой реки, в нижнем течении которой уже существует каскад гидроэлектрических установок.

Объединение гидроэлектрических систем. Эффективным средством повышения использования как самих гидроэлектростанций, так и их регулирующих водохранилищ в странах Америки явился путь широкой централизации электроснабжения в форме сочетания гидроэлектрических систем в обширные энергетические объединения.

Так, в северо-западных тихоокеанских штатах США за годы войны создано крупнейшее объединение систем с суммарной генерирующей мощностью 3,35 млн. kWh, на 87% состоящей из гидроэлектростанций. Объединение систем в этом случае уже с самого же начала позволило высвободить значительную генерирующую мощность—100 тыс. kWh. Известно также созданное в Канаде в военные годы объединение трех крупных гидроэлектрических систем в районе Северного Квебека с суммарной мощностью 3 млн. kWh.

В условиях разнохарактерного энергетического режима гидроэлектростанций, неравномерного распределения в речных бассейнах регулирующих водохранилищ, а также различных форм графиков электрической нагрузки отдельных энергосистем—такого рода путь широкого объединения крупных гидроэлектростанций оказался крайне эффективным и представляет поэтому значительный интерес с точки зрения задач развития гидроэнергетики в нашей стране.

Литература

1. Электричество, стр. 37—38, № 7, 1944.
2. El. World, № 26, 1942; № 5, № 7, 1943.
3. El. Light and Power, № 11, 1942.
4. Mech. Eng., № 8, 1942.
5. El. Eng., № 12, 1942; № 7, 1943.
6. The Canadian Engineer, № 4, 1932.
7. Electrical News and Engineering, № 12, 1944.
8. Power Plant Engineering, сентябрь 1944.
9. El. West, № 1, № 5 и № 6, 1944.
10. Power, № 7, 1944.

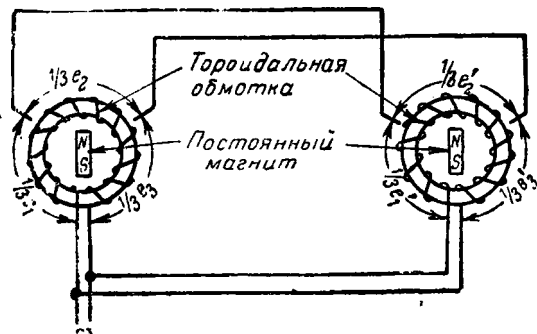
Кандидат техн. наук Н. А. КАРАУЛОВ

R. S. Childs. Магнесин. *El. Eng., Tr. стр. 679, № 9, 1944.*

Остроумное и простое разрешение проблемы бесконтактного сельсина выполнено американским инженером R. S. Childs. Принципиальная схема предложенной машины представлена на рисунке. Как видно, в основном она состоит из статора с тороидальной обмоткой, приключенной к сети однофазного переменного тока и снабженной двумя отпайками под углом 120° к точке начала тороидальной обмотки и из ротора — дискового двухполюсного постоянного магнита без обмотки. Датчик и приемник совершенно неподвижны. Обмотка статора приемника присоединяется к той же сети переменного тока, что и датчик, и кроме того отпайки датчика и приемника соединяются между собой.

Принцип действия магнесина основан на том, что ротор создает постоянную подмагниченность в железе статора, причем направление подмагничивающего потока в одной половине статора совпадает с направлением м. д. с. тороидальной обмотки переменного тока, а в другой половине — противоположно. Благодаря насыщению статора подмагничивающим постоянным потоком ротора создается искажение формы кривой э. д. с., различное для той половины статора, где поток ротора совпадает по направлению с потоком статора, и там, где они противоположны.

Очевидно, что эта искаженная форма кривой э. д. с. на отпайках будет изменяться при повороте ротора. Если оба ротора — у датчика и у приемника — находятся в точно одинаковом положении, то в соединительных проводах не будет никакого тока. Если же это положение будет неодинаково, то благодаря различной форме кривой э. д. с. одноименных отпайек в соединительных проводах потекут уравнивающие токи, под действием которых ротор приемника повернется, пока не займет одинаковое положение с ротором датчика.



Действительная конструкция отличается от изображенной на рисунке еще наличием внешнего замыкающего кольца из расслоенного железа без обмотки, охватывающего статор и предназначенного для увеличения магнитной проводимости, а также для защиты магнесина от действия внешних магнитных полей.

Собственный расход энергии магнесина самолетного типа при 400 Hz и 26 V составляет около 1,5 VA. При работе от инвертора магнесин удовлетворительно работает при изменении частоты от 150 до 1 200 Hz (причем отношение частоты к напряжению изменяется в пределах от 13 до 17).

Основные достоинства магнесина простота конструкции, а также, как и вообще у бесконтактных сельсинов, — надежность работы при малом моменте трения. Одним из первых применений магнесина является передача на расстояние показаний компаса на самолете, но очевидно, что магнесин может найти очень широкое применение и в целом ряде других областей.

Ввиду больших перспектив применения магнесина желательна постановка соответствующих работ в СССР.

Кандидат техн. наук А. И. МОСКВИТИН

L. Vozneti. Электронная схема для изучения качаний синхронных машин. *El. Eng., стр. 603—606, № 12, 1942.*

В статье описывается новая установка, разработанная для определения колебаний угла θ в синхронной машине при качаниях, сопровождающих изменение нагрузки.

Установка имеет два механических и четыре электрических элемента. Механическая часть состоит из лампы, сфокусированный пучок света, и металлического которого одевается на муфту машины и на которую ляжется столько маленьких зеркал, сколько пар полюсов машины. Основной частью электрической системы является контур для зарядки конденсатора. Конденсатор в нем расположен так, что при постоянной скорости машины он заряжается на одном и том же месте каждой волны напряжения, приложенного к его зажимам. Параллельно конденсатору присоединена газовая лампа, сеточное напряжение которой управляется вторым электрическим элементом установки — газовой фотоэлементом с усилителем. Каждый раз, когда фотоэлемент получает порцию света, конденсатор разряжается, поэтому, если скорость машины меняется, т. е. отменяется между отблесками света от зеркал на фотоэлементе, конденсатор не успевает полностью зарядиться, и заряд конденсатора будет неодинаковым, меняется и заряд конденсатора.

Для заданной емкости напряжения пропорциональны нечужою заряду, следовательно, колебания напряжения будут соответствовать изменению скорости, а периодические колебания напряжения будут соответствовать качаниям машины. Третьим необходимым электрическим элементом является источник мощности, состоящий из электронного лампы и фильтра. Он подает напряжение на сетку разрядной лампы, также напряжения на аноды фотоэлемента и усилителя. Следней частью электрической схемы установки является осциллограф или магнитный осциллограф.

Описанные в статье результаты получены с помощью осциллоскопом, применение которого несколько проще, чем осциллографа. При работе синхронной машины с постоянной нагрузкой, когда качания отсутствуют, на экране осциллографа появляется треугольная волна. Изменение нагрузки и изменение скорости на машине отмечается увеличением или уменьшением высоты волны, которая пропорциональна изменению угла θ .

Предлагаемый автором новый метод изучения качаний синхронных машин с помощью электронной схемы при исследовании машин с любым числом полюсов. Он пользуется достаточно простыми аппаратами, а главное может применяться во время работы оборудования без нарушения его рабочих характеристик последнего.

Инж. Е. Л. КОВАРИ

ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

Willis и др. Связь сетей разной частоты через промежуточное звено постоянного тока. Доклады № 44143-4 на летней сессии. AIEE, 1944.

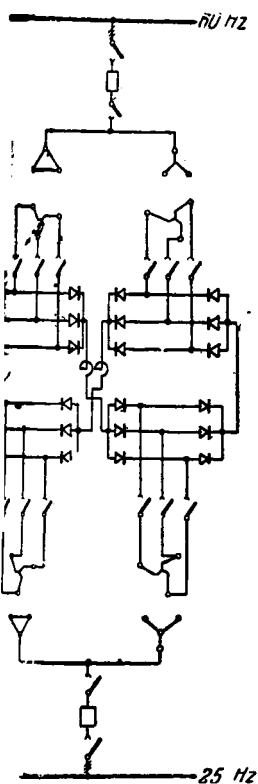
В 1943 г. возникла необходимость связать сеть 125 Hz, 25 kV, 44 kV сталелитейного завода Эдгар Томсон фирмы Карнеджи Иллинойс в Питтсбурге с районной сетью 600 Hz, 69 kV, имеющей частоту 60 Hz. Требовалась резервная эластичная связь; колебания частоты в одной из сетей должны были передаваться в другую. Максимальная мощность составляла 20 MW.

Рассмотрение различных способов связи сетей разной частоты показало, что наиболее экономичным решением является связь через выпрямитель, промежуточное звено постоянного тока и инвертор. Такая связь имеет высокий к. п. д. — 94% и позволяет полностью регулировать мощность в любом направлении, независимо от колебаний частоты и напряжений в сетях. Было принято решение связать сети через два блока «выпрямитель-инвертор» мощностью по 10 MW, 29,4 kV постоянного тока, изготовленных фирмой GEC.

Первый из блоков, изображенный на приведенном рисунке, был введен в опытную эксплуатацию в декабре 1944 г. В ходе испытаний блок успешно работал в течение двух недель с 25% перегрузкой. В апреле 1944 г. оба блока введены в промышленную эксплуатацию. Установка в целом состоит из четырех одинаковых 12-фазных преобразователей любой из которых может работать как выпрямитель или как инвертор: восьми трехфазных, двухобмоточных трансформаторов 25 Hz и 60 Hz и двух сглаживающих дросселей, включенных между выпрямителем и инвертором. Для экономии места два трансформатора смонтированы в одном щем кожухе. Установка занимает два зала площадью 550 м² и часть открытой подстанции площадью 1 400 м².

Каждый преобразователь состоит из двух каскадов, включенных по трехфазной схеме Греца. Благодаря сдвигу фаз в первичных обмотках питающих трансформаторов обе

получение 12-фазных характеристик преобразования. Сдвиг фаз 15° между трансформаторами раздают возможность получить при параллельной работе обоих блоков 24-фазный режим работы всей установки. Преобразователи работают с естественной коммутацией. Баланс реактивной мощности покрывается за счет приемных и передающих сетей.



Для преобразования применены высоковольтные инитроны «пентодного тип.» марки GL-506. Это — отпаянные металлические инитроны с водяным охлаждением на номинальное напряжение 20 kV при 150 A среднего тока. Они снабжены тремя сетками: первая сетка, считая от анода, присоединяется к делителю напряжения и служит для распределения обратного потенциала в вентиле, вторая является управляющей, третья — экранирующей и служит для улучшения условий деионизации. Каждый вентиль имеет три независимых игнйтера, из которых нормально работает один. Благодаря такому резервированию срок службы вентилей не ограничивается износом игнйтера и составляет по данным фирмы 5 лет. Падение напряжения в дуге вентилей равно 20—30 V; диаметр вентиля 210 мм; высота около 1 м.

Регулирование производится одновременным сдвигом моментов подачи зажигающих импульсов на игнйтер и подачи положительного потенциала на управляющую сетку.

Для автоматического регулирования передаваемой мощности служит амплитудный ток которого подмагничивает насыщенные дроссели в цепи, питающей игнйтеры и сетки. Это устройство ликвидирует за несколько секунд любое изменение передаваемой мощности от заданной величины.

В случае обратного зажигания в выпрямителе или короткого замыкания в инверторе выпрямитель заперается быстродействующим реле, воздействующим одновременно на цепь зажигания и на сетки. Несколько периодов спустя выпрямитель снова автоматически включается и напряжение установки автоматически же поднимается с нуля.

Таким способом аварии установки самоликвидируются обычно за $\frac{1}{3}$ sec без отключения масляных выключателей на стороне переменного тока. Короткие замыкания в любой из трехфазных систем не вызывают больших сверхтоков в преобразователях и на работе второй сети мало отражаются.

Успешная работа описанного устройства побудила фирму Карнеджи приступить к осуществлению аналогичной установки на 20 MW на своем заводе в Гари, где также имеется сеть 25 Hz. Первый блок новой установки уже сдан в опытную эксплуатацию.

Несмотря на незначительное расстояние между выпрямителями и инверторами, эластичная связь сетей разной частоты в Питтсбурге должна считаться первой в мире промышленной установкой для передачи энергии выпрямленным постоянным током. Этим и объясняется большой интерес, проявляемый к ней на летней сессии Американского института электриков, где ей были посвящены 5 докладов.

Кандидат техн. наук Я. М. ЧЕРВОНЕНКИС

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Воздушное охлаждение для ртутных выпрямителей. ВВМ, стр. 215, № 6, 1944.

Воздушное охлаждение получило за последние годы распространение для следующих типов металлических ртутных выпрямителей: отпаянные выпрямители малой и

средней мощности (сотни kW), в частности для электротяги; мощные одноанодные выпрямители (экситроны); высоковольтные выпрямители всех мощностей.

Ртутные выпрямители на 33 kV, 400 A, разработанные фирмой BBC для целей передачи энергии постоянным током высокого напряжения, выполняются с принудительным воздушным охлаждением по замкнутому циклу. Охлаждающие воздухопроводы проходят через сосуд выпрямителя и далее через полую фундаментную плиту выпрямителя, установленную на изоляторах. Воздух в свою очередь охлаждается водой.

Кандидат техн. наук Я. М. ЧЕРВОНЕНКИС.

A. Rosenstein. Управляемые сухие выпрямители. *El. Eng.*, стр. 21—23. № 1, 1944.

Одним из недостатков сухих выпрямителей является невозможность регулирования выпрямленного напряжения. Нормально при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной изменение напряжения селенового выпрямителя меняется в пределах от 10 до 18%. Однако имеются такие области применения этих выпрямителей, где требуется более широкая регулировка напряжения.

В реферлируемой статье автор рассматривает вопрос об автоматическом электронном управлении выпрямленного напряжения.

Основными элементами подобных управляемых выпрямителей являются: фильтр, источник неизменного потенциала постоянного тока, усилитель постоянного тока, насыщаемые управляемыми тиратронами, реакторы и селеновые выпрямители со своими трансформаторами. Выпрямленное напряжение селеновых выпрямителей очищается от пульсаций посредством фильтров.

Разница между отфильтрованным напряжением и постоянным потенциалом накладывается на сетку электронной трубки с высокой проводимостью, употребляемой в качестве усилителя постоянного тока.

Такая схема дает сравнительно широкое изменение напряжения постоянного тока посредством усилителя, при малом изменении напряжения выпрямителя. В результате изменение неизменного постоянного тока используется для управления сетками пары тиратронов. Регулируемый ток тиратронов протекает через вторичные обмотки реакторов, соединенных последовательно с первичными обмотками силовых трансформаторов выпрямителей. При этом с увеличением нагрузки уменьшается падение напряжения в реакторах и увеличивается напряжение трансформаторов.

Одной из важных проблем, встречающихся при применении подобных цепей, является правильный выбор и расчет фильтра, на чем автор статьи останавливается особо.

В статье приводится также описание фазосмещающих цепей, реакторов и фильтров.

Инж. М. Д. ТРЕЙВАС

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

M. S. Wilson, J. M. Whittenton. Усовершенствованные магнитные сплавы. *El. Eng.*, стр. 100, № 3, 1944.

В статье приводятся данные о новых материалах для постоянных магнитов, применяемых в США, и о видах их использования в электротехнике. Следует особо отметить сплавы никеля и меди с кобальтом или железом, обладающие значительной вязкостью (в противоположность многим весьма твердым и хрупким сплавам для постоянных магнитов), а также сплав Comol (12% Co, 17% Mo, прочее — Fe; из этого сплава, в частности с успехом изготавливаются магниты с точными размерами для электроизмерительных приборов).

Сплавы Ni и Cu с Co или Fe имеют коэрцитивную силу $H_c = 440—450$, остаточную индукцию $B_r = 5300$, $(BH)_{max} = 993000—1070000$. Для Comol $H_c = 245$, $B_r = 10300$, $(BH)_{max} = 1100000$. У сплава Alnico V (8% Al, 14% Ni, 24% Co, 3% Cu, 51% Fe) значение $(BH)_{max}$ достигает 4000000.

Кандидат техн. наук Б. М. ТАРЕЕВ

R. Russell, Jr, L. J. Berberich. Керамические материалы с малыми диэлектрическими потерями. *Electronics*, стр. 136—142 и 338, № 5, 1944; *Ceramic Age*, стр. 87, № 3, сентябрь 1944.

В США в годы войны разработаны цирконовые фарфоры с весьма малыми диэлектрическими потерями. В этих материалах основным компонентом является минерал циркон $ZrO_2 \cdot SiO_2$, к которому добавляются некоторые количества глины и плавней.

Новые цирконовые фарфоры характеризуются большой плотностью структуры, ничтожно малой гигроскопичностью и высокой стойкостью к резким сменам температуры. Плотность $3,6—3,8 \text{ g/cm}^3$; линейный коэффициент теплового расширения $3,6—5,0 \cdot 10^{-6}$ на 1°C ; прочность на разрыв 850 kg/cm^2 ; прочность на сжатие 6000 kg/cm^2 .

В реферируемой статье приведены графики зависимости электрических характеристик $\text{tg } \delta$, ϵ , ρ_{σ} цирконовых фарфоров и других керамических материалов от частоты и от температуры.

Кандидат техн. наук Б. М. ТАРЕЕВ

РАЗНОЕ

Prof. W. M. Thornton. Токи между электродами на поверхности металлического листа. *JIEE*, vol. 91, p. 11, № 20 1944.

Реферируемая работа возникла в связи с практическим применением электрического метода измерения толщины металлических листов и труб.

Исходя из известного решения плоской электростатической задачи, автор исследует влияние конфигурации листов и расположение электродов на градиенты потенциала в ближайших окрестностях круглых электродов. Влияние толщины листа и краевого эффекта оценивается с помощью экспериментальных данных. В конце работы дается сводка расчетных формул, примененных или выведенных автором.

Кандидат техн. наук М. С. ЛИБКИНД

ПОПРАВКИ

В заметке «Работы ВЭИ» (*Электричество*, № 5, 1945), стр. 66, левый столбец — следует обозначать электрическую крепость в kV/mm , там же объемное сопротивление следует читать в $\Omega \cdot \text{cm}$.

В статье проф. С. И. Тетельбаум «О беспроводной передаче электроэнергии на большие расстояния с помощью радиоволн» (*Электричество*, № 5, 1945), на стр. 43, абзац, следующий за рис. 2, надо читать: «Например, в случае плоских квадратных синфазных антенн рис. 2 площадью L^2 каждая, состоящих из большого числа элементарных вибраторов длиной в первой и во второй антеннах соответственно Δ_1 и Δ_2 , ориентированных так, как показано на рис. 2, мы имеем».

В статье Л. В. Цукерник «Автоматическое регулирование напряжения компаундированных синхронных генераторов», помещенной в № 4 журн. *Электричество*, 1945 г., на стр. 42, левый столбец, 18 строка сверху, следует читать:

«Это повышение напряжения может возникнуть в том случае, когда дроссель является непосредственно установочным сопротивлением компаундирующего блока от тока нагрузки».

На стр. 41 в подписи под рис. 1 следует добавить: А — генератор без компаундирования; Б — генератор с компаундированием.

СЛЮДА И МИКАНИ

ВСЕХ ВИДОВ И КАЧЕСТВ

Промасленная хлопковая материя и ленты

Хлопковые изоляционные ленты для динамомашин

Асбестовые обшивочные полосы

Листы, трубки и стержни из вулканизированной фибры

Прессшпан и гладкий спрессованный картон

Листы, трубки и стержни из эбонита

ЛИСТОВОЙ БАКЕЛИТ

МАРКИ „BAKELAQUE“

Трубки, стержни и отливки

Синтетические смолы (фенол и крезол)

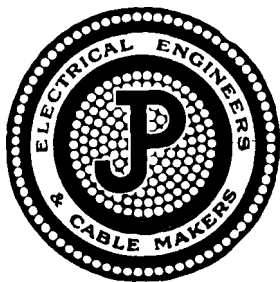
Пластмасса в порошке для отливок

ATTWATER & SONS LTD.

HORWOOD STREET MILLS

PRESTON, АНГЛИЯ

Фирма существует с 1868 года.



Специалисты по передаче, преобразованию и управлению электрической энергией

Год основания 1875

ПОДСТАНЦИИ ДЖ. и Ф.

Нами изготавливаются все виды оборудования для полных подстанций, включая кабели, кабельные принадлежности, распределительные устройства, трансформаторы и электростатические конденсаторы для улучшения коэффициента мощности.

На иллюстрации изображена полная подстанция Дж. и Ф. Трансформаторы (10 штук по 1000 кв-а) установлены снаружи здания, в огнеупорных камерах. Электростатические конденсаторы видны посередине устройства. Изображенная подстанция снабжена современным пожаротушительным оборудованием.

АКЦ. О-ВО ДЖОНСОН и ФИЛЛИПС
ЧАРЛЬТОН, ЛОНДОН, АНГЛИЯ

JOHNSON & PHILLIPS LTD. CHARLTON, LONDON

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Москва, Шлюзовая набережная, 10

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:

- БАМДАС А. М.**, Трансформаторновыпрямительные агрегаты для электрической очистки газов (ЦБТИ НКЭП). М.-Л., Госэнергоиздат, стр. 41, тираж 1 000, ц. 5 руб.
- БЕЛЬКИНД Л. Д.**, проф., Электроосветительные приборы ближнего действия (электрические светильники), второе переработанное издание. Допущено Всесоюзным комитетом по делам высшей школы при СНК СССР в качестве учебного пособия для электротехнических институтов. М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 262, тираж 10 000, ц. 17 руб. в переплете.
- БЕРГ А. И. и РАДОВСКИЙ М. И.**, Александр Степанович Попов (к 50-летию изобретения радио). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 58, тираж 50 000, ц. 2 руб.
- ВОПРОСЫ экономичности работы электростанций** (по материалам четвертого совещания энергетиков электростанций Главцентрэнерго) (Главцентрэнерго — Дом энергетиков). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 74, тираж 3 000, ц. 7 руб.
- ИНСТРУКЦИЯ** по пересмотру штатов производственного персонала (рабочих, инженерно-технических работников и др.) электростанций НКЭС (Отдел труда и зарплаты). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 14, тираж 2 000, бесплатно.
- ИНСТРУКЦИЯ** по учету топлива на электростанциях НКЭС СССР (Центральная бухгалтерия). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 28, тираж 1 500, бесплатно.
- ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ** (Технический отдел Оргрэс), выпуск электротехнический, октябрь — декабрь 1944 г. М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 14, тираж 5 000, ц. 1 руб.
- ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО** ВТИ № 1944-7, Условия определения жесткости олеатным методом. М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 17, тираж 3 000, бесплатно.
- КОЧАНОВСКИЙ Н. Я.**, Новые автоматические устройства для электрической дуговой сварки (ЦБТИ НКЭП). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 31, тираж 2 000, ц. 3 руб.
- КОЧАНОВСКИЙ Н. Я.**, Электрическая сварка в США. М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 90, тираж 3 000, ц. 10 руб.
- МАТЕРИАЛЫ** по обмену техническим опытом, вып. IX (ЦБТИ НКЭП). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 52, тираж 3 000, ц. 5 р. 50 к.
- ПАМЯТКА** для поступающих в Московский ордена Ленина энергетический институт им. В. М. Молотова. М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 5, тираж 5 000, бесплатно.
- ПРАВИЛА** безопасности при эксплуатации воздушных линий высокого напряжения (Технический отдел НКЭС). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 75, тираж 25 000, ц. 5 р. 25 к.
- ПРИЕЗЕНЦЕВ В. А.**, Производство обмоточных проводов с хлопчатобумажной остеклованной и дельта-асбестовой изоляцией (пособие для рабочих кабельщиков). Третье издание. М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 18, тираж 10 000, ц. 8 руб. в переплете.
- ПУСК, НАЛАДКА и ПРИЕМКА** в промышленную эксплуатацию тепловых сетей (Оргрэс). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945, стр. 46, тираж 4 000, ц. 4 р. 50 к.
- ПЯТЬДЕСЯТ ЛЕТ РАДИО** под редакцией инж. Б. П. Можжевельова. М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 92, тираж 50 000, ц. 3 руб.
- РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ**, вып. 5. Вопросы эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций (Оргрэс). М.-Л., 1945 г., стр. 31, тираж 5 000, ц. 3 руб.
- РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ**, вып. 6. Вопросы ремонта теплотехнического оборудования электростанций (Оргрэс). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 38, тираж 5 000, ц. 4 руб.
- РЕМОНТ** торфяных машин, вып. II. Машины сверхстандарта для добычи гидроторфа. Торфососный кран. Торфосос модели 1931 г., растиратель модели 1930 г. (Главторф). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 47, тираж 1 000, бесплатно.
- РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ** по контролю за работой конденсационных установок (Оргрэс). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 29, тираж 4 500, ц. 3 руб.
- РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ** по ремонту углеразмольной шаровой мельницы Ш-8 (Оргрэс). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 32, тираж 3 000, ц. 3 руб.
- СБОРНИК** противоаварийных циркуляров (Технический отдел НКЭС). Электрическая часть. М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 31, тираж 10 000, ц. 2 руб.
- СБОРНИК** рационализаторских мероприятий по турбинным цехам электростанций. Информационные письма 1936—1944 гг. (Оргрэс). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 105, тираж 5 000, ц. 8 руб.
- СЕМЕНЕНКО Н. А.** Котлы-утилизаторы. Энергетическое использование отходов тепла промышленных топливопотребляющих установок. М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 83, тираж 3 000, ц. 8 руб.
- ТРУДЫ** всесоюзной технической конференции по применению новых материалов и заменителей, вып. II. Электрическая изоляция (ЦБТИ НКЭП). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 107, тираж 3 000, ц. 12 р. 50 к.
- ТРУДЫ** всесоюзной технической конференции по применению новых материалов и заменителей, вып. IV. Провода и кабели (ЦБТИ НКЭП). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 71, тираж 3 000, ц. 7 р. 50 к.
- ТРУДЫ** всесоюзной технической конференции по применению новых материалов и заменителей, вып. VII. Электровакуумная техника (ЦБТИ НКЭП). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 65, тираж 2 000, ц. 7 р. 50 к.
- ТРУДЫ** всесоюзной технической конференции по применению новых материалов и заменителей, вып. VIII. Металлы и сплавы (ЦБТИ НКЭП). М.-Л., Госэнергоиздат, стр. 83, тираж 2 000, ц. 10 руб.
- УКАЗАНИЯ** по заполнению паспорта гидростанции (Гидроэнергопроект). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945, стр. 7, тираж 200, бесплатно.
- ФОРМЫ** учета, отчетности и технической документации по связи в энергосистемах НКЭС СССР (составлено Центральной службой связи НКЭС). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 75, тираж 3 000, ц. 6 р. 50 к.
- ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ЦИРКУЛЯР** № Т-36 (Технический отдел) по обслуживанию при капитальном ремонте состоянию и условий работы лопаток паровых турбин. М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., тираж 4 000, ц. 30 коп.
- ЭКСПЛУАТАЦИЯ** электрофильтров для очистки дымовых газов (Оргрэс). М.-Л., Госэнергоиздат, 1945 г., стр. 80, тираж 4 500, ц. 6 руб.