

ОРГАН НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ И АКАДЕМИИ НАУК СССР

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

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

## Передовую науку и технику— на службу третьей сталинской пятилетке

XVIII съезд партии Ленина — Сталина начертал генеральную линию дальнейшего продвижения СССР к коммунизму. Величайшая программа работ, развернутая съездом, вдохновляет советских патриотов на новые подвиги во всех отраслях народного хозяйства, культуры, науки, техники и обороны страны. Знамя третьей сталинской пятилетки взяли в свои руки миллионы трудящихся. По всей стране ширится социалистическое соревнование имени Третьей Сталинской Пятилетки.

Новыми сотнями тысяч тонн чугуна, миллионными киловатт-часов, выпуском новейших конструкций машин, высококачественной обработкой и посевом полей отвечают стахановцы и ударники, инженеры, рабочие и колхозники на решения XVIII съезда ВКП(б).

Коллектив Московского электролампового завода выпустил 1 млн. электрических ламп сверх плана I квартала 1939 г. Коллектив Сталиногорской грэс совместно с работниками завода «Электросила» им. Кирова обеспечил пуск в нормальную эксплуатацию турбогенератора мощностью 100 тыс. квт. Коллектив Днепрогэс им. Ленина успешно завершил монтаж и пустил в ход девятый гидрогенератор мощностью 62 тыс. квт.

Как указал товарищ Сталин в своем замечательном докладе на XVIII съезде ВКП(б), перед СССР стоит задача в 10—15 лет догнать и перегнать в экономическом отношении наиболее развитые капиталистические страны мира.

Вопрос поставлен так, чтобы разжечь стремление к ускорению темпов роста промышленности, особенно тяжелой промышленности, которая, в последнем счете, определяет подъем всего народного хозяйства. Вопрос поставлен так, чтобы разжечь у большевиков и у всех честных людей

нашей страны стремление в кратчайший срок покончить с фактом недостаточности экономического уровня СССР», сказал в докладе о третьем пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР тов. Молотов.

Наше социалистическое общество, накопившее громадную технику, создавшее многочисленные кадры квалифицированных работников всех специальностей, не хочет и не будет мириться с фактом экономического отставания от капиталистических стран.

Это отставание тов. Молотов ярко иллюстрировал на примере с электроэнергией.

«По потреблению электроэнергии на душу населения в конце третьей пятилетки СССР должен уже перегнать современный уровень Франции, но он еще будет в полтора раза ниже уровня Германии и почти в три раза ниже современного уровня потребления электроэнергии в Соединенных Штатах Америки».

Вот как выглядит графа электроэнергии в таблице, приведенной тов. Молотовым, о производстве главнейших видов промышленной продукции на душу населения в СССР и капиталистических странах (СССР — за 1937 г., другие страны — по последним опубликованным данным, в квт-ч):

	СССР	США	Германия	Англия	Франция	Япония
Электроэнергия . .	215	1160	735	608	490	421

Несмотря на весьма значительный рост производства электроэнергии за годы второй сталинской пятилетки, выразившийся особенно в том,

что вооруженность рабочего электроэнергией по промышленности в целом выросла с 2100 квт-ч до 4370 квт-ч, этот рост не поспевал за темпами развития всего народного хозяйства. Кроме того, немалый ущерб нанесли электрохозяйству своим вредительством троцкистско-бухаринские шпионы и диверсанты. В результате в ряде районов ощущается недостаток электроэнергии.

Грандиозны задачи, поставленные в третьей пятилетке перед электрификацией СССР. За пять лет (по сравнению с 1937 г.) мощность электростанций должна возрасти с 8,1 млн. квт до 17,2 млн. квт, производство электроэнергии должно возрасти с 36,4 млрд. квт-ч до 75 млрд. квт-ч.

В районе Куйбышева ведется строительство величайшего в мире сооружения — двух гидроэлектростанций общей мощностью в 3,4 млн. квт. Эти станции должны решить проблему орошения и обеспечения устойчивых, высоких урожаев на землях Заволжья, а также должны поднять дело судоходства по Волге и Каме. Эти станции своей энергией вызовут к жизни новую промышленность в районах Волги и Урала и будут служить немалым подспорьем в электроснабжении центральных районов Европейской части СССР. Над проблемами Куйбышевского гидроузла в настоящее время работают лучшие инженеры и ученые нашего Союза, крупнейшие заводы и институты.

Одним из главнейших условий успешного выполнения третьего пятилетнего плана является решительный отказ от гигантомании в строительстве.

«Тон в этом деле, — сказал тов. Молотов в своем докладе, — должно дать строительство небольших и средних электростанций. У нас много примеров того, что, ввязавшись в строительство гигантов, мы убухали большие средства, но непозволительно затягивали окончание строек. Как пример того, к чему ведет гигантомания, можно привести Фрунзенскую теплоэлектроцентраль в Москве. Станция была запроектирована, как гигант — мощностью в 200 тысяч киловатт, а первая очередь — в 100 тысяч киловатт. Строится она с 1932 года и все же до сих пор недостроена. Возьмись мы за это дело поскромнее, начини строить не одну, а несколько небольших теплоцентралей, скажем, по 20—25 тысяч киловатт, и мы бы теперь уже имели в Москве 2 или 3 теплостанции законченными. Таких уроков у нас не мало».

В докладе тов. Молотова и в резолюции XVIII съезда по этому докладу, в части, касающейся электростроительства, красной нитью проходит директива о строительстве электростанций средней и небольшой мощности.

Наряду с крупным гидроэлектростроительством опромное значение приобретает строительство новых гидроэлектростанций меньшего масштаба. Товарищ Сталин поставил недавно вопрос о строительстве ряда таких гидроэлектростанций в Донбассе и на Урале.

Большое внимание в материалах и решениях XVIII съезда ВКП(б) обращено на строительство гидроэлектростанций вообще и мелких станций особенно.

В резолюции XVIII съезда ВКП(б), в пункте о сельском хозяйстве и комплексной механизации сельскохозяйственных работ прямо говорится:

«Широко развернуть строительство мелких колхозных гидростанций, ветросиловых и газогенераторных электроустановок на местном топливе».

Эта огромная и почетная задача возлагает на промышленность энергетического оборудования. Всесоюзный институт механизации и электрификации сельского хозяйства, а также на Академию наук СССР большие и новые обязанности. Нужно разработать и помочь осуществить в массовом масштабе типовые установки с типовым оборудованием для огромного числа мелких электростанций.

Говоря о задачах освоения и использования техники, тов. Молотов на примере наших электростанций показал замечательные преимущества социалистического хозяйства перед капиталистическим:

«Наши электростанции работают намного производительнее, с гораздо большим производственным эффектом, чем электростанции любой другой страны. Мы используем мощность электростанций СССР в два раза интенсивнее, чем в буржуазных странах. Можно только радоваться тому, что в такой стране, как СССР, электросвет уже вырвался из сковававших его рабских пут капитализма и обильно отпускает нам свои блага. Это, с другой стороны, не снимает с нас обязанности не допускать перенапряжения и риска».

Чтобы ликвидировать напряженность электроснабжения, третий пятилетний план предусматривает создание в промышленных районах постоянного энергетического резерва в 10—15%.

Однако на отдельных участках электрохозяйства имеются еще большие неиспользованные резервы. На это правильно указал в своей речи на XVIII съезде ВКП(б) Народный комиссар электростанций и электропромышленности тов. Первухин:

«Мощность промышленных и коммунальных электростанций составляет 41 проц. мощности всех станций, а электроэнергии вырабатываются

олько 25 проц. Установленные мощности на этих станциях используются в 3—3,5 тысячи часов, тогда как районные станции используют всю максимальную мощность в 5500 часов, а в некоторых случаях до 8 тысяч часов».

Тов. Первухин обратил внимание съезда на отставание развития электросетей и подстанций:

«Отстающий участок в энергетическом хозяйстве — электросети и подстанции. Многие подстанции работают с перегрузкой до 50 проц. Пропущенная мощность электросетей недостаточна. Все это ведет к дополнительным потерям электроэнергии».

В 1913 году в России было только 109 километров высоковольтных сетей, а в 1938 году их уже насчитывалось 17 тысяч км. Однако этого недостаточно. Если взять для сравнения Соединенные Штаты Америки, то там высоковольтных линий передач имеется свыше 250 тысяч километров».

Резолюция XVIII съезда ВКП(б) требует:

«Всемерно развить строительство высоковольтных электросетей и подстанций».

Для дальнейшего развития электрификации СССР, особенно в связи со строительством многочисленных электростанций средней и небольшой мощности, решающее значение будет иметь выполнение указания XVIII съезда ВКП(б) об автоматизации основных производственных процессов в электростанциях и сетевого хозяйства.

Экономия топлива и электроэнергии съезд назвал важнейшей задачей всех предприятий промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Недавнее награждение орденами и медалями юоза передовых работников электропромышленности, электростанций и электросетей еще раз свидетельствует об огромной заботе и внимании, которое уделяют партия и правительство энергетике.

Высокие и ответственные задачи, поставленные XVIII съездом ВКП(б) в области электрификации, требуют от работников электрохозяйства четкой слаженной работы на всех участках и в особенности на участке строительства электростанций и электросетей. Нужно помнить — и это отметил специально тов. Молотов в своем докладе съезде, — что план по строительству электростанций во второй пятилетке был выполнен лишь 55 процентов при выполнении плана по производству электроэнергии на 96 процентов.

Выполнение плана электростроительства и бесперебойность электроснабжения должны стать непреложным законом для работников электрохозяйства.

Выполнение исторических решений XVIII съезда ВКП(б) теснейшим образом связано с дальнейшим подъемом науки и техники, с внедрением новейших передовых достижений техники во все отрасли народного хозяйства. Это подчеркнул в своем заключительном слове на съезде тов. Молотов:

«Мы идем по линии дальнейшего и все более широкого внедрения передовой техники во все отрасли народного хозяйства. Без дальнейшего большого увеличения техники, без постоянного повышения технического уровня, без всемерного использования последних достижений мировой техники, — нельзя обеспечить нужный Советскому Союзу дальнейший сильный подъем народного хозяйства» (Молотов).

Для того чтобы двигать вперед технический прогресс, чтобы дать еще больший простор творчеству новаторов, стахановцев и изобретателей, наши кадры должны беречь и развивать в себе драгоценное качество, которое называется чувством нового и о котором говорил товарищ Сталин в своем докладе на XVIII съезде ВКП(б) при характеристике большевистских кадров.

Чтобы быть настоящими ленинцами и не превратиться в бесперспективных деляг-крохоборов, наши специалисты, инженеры и ученые должны непрерывно повышать свой политический уровень и марксистско-ленинскую сознательность:

«Ибо нельзя считать действительным ленинцем человека, именующего себя ленинцем, но замкнувшегося в свою специальность, замкнувшегося, скажем, в математику, ботанику или химию и не видящего ничего дальше своей специальности» (Сталин).

С чувством огромной благодарности и преданности Всесоюзной коммунистической партии и ее ленинско-сталинскому Центральному Комитету встретил весь народ, в том числе вся советская интеллигенция, мудрые решения XVIII съезда ВКП(б), вооружающие каждого партийного и непартийного большевика в его работе на благо родины.

Советские патриоты, не щадя жизни и сил для процветания своей родины, раздают любых врагов, которые попытаются нарушить границы социалистического государства.

Советские патриоты счастливы работать, бороться и побеждать под великим знаменем Маркса — Энгельса — Ленина — Сталина.

## Гидрогенераторы 100, 150 и 200 MW для Куйбышевской гЭС<sup>1</sup>

(По материалам завода „Электросила“ им. Кирова)

**Б. В. ТРОИЦКИЙ**

Госплан СССР

ОДНОЙ из наиболее актуальных проблем проектирования всего Куйбышевского гидроузла является правильный выбор мощности отдельных агрегатов (гидрогенераторов и турбин) Куйбышевской гидроэлектростанции. При решении этого вопроса должны быть учтены все факторы, определяющие надежность и устойчивую работу энергосистемы в целом.

Публикуемый ниже материал дает представление лишь о заводских расчетных данных гидрогенераторов Куйбышевской гЭС и об оценке их с точки зрения некоторых основных задач конструирования, расхода материалов, условий монтажа и т. п., что представляет, однако, большой интерес.

Коллектив завода «Электросила» им. Кирова разработал расчетные данные для шести основных вариантов гидрогенераторов Куйбышевской гидроэлектростанции мощностью 100, 150, 200 MW в зонтичном и подвесном исполнении.

В настоящей статье мы даем краткий сравнительный обзор всех вариантов.

Данные, положенные в основу проработанных вариантов, перечислены в табл. 1.

Таблица 1

Мощность	100 MW	150 MW	200 MW
$\cos \varphi$ . . . . .	0,9	0,9	0,9
Скорость вращения . . . . .	83,3	83,3	68,2

Данные турбинной части — в табл. 2.

Таблица 2

Угонная скорость вращения об/мин . . . . .	200	204	175
Нагрузка на пята от реакции воды и веса турбинного колеса	1 950	2 430	3 450
Диаметр турбинной шахты, м	8	9,7	11,5
Необходимый маховой момент тм <sup>2</sup> . . . . .	55 000	120 000	220 000

В табл. 3 приводим все сравнительные данные по вариантам.

Таблица 3

Наименование	100 MW	150 MW	200 MW	
Наружный диаметр активного железа статора, мм . . . . .	10 975	12 115	14 100	
Внутренний диаметр активного железа статора, мм . . . . .	10 440	11 500	13 500	
Полная длина активного желе- за статора, мм . . . . .	2 730	3 020	3 830	
Чистый вес активного железа статора, t . . . . .	107,5	159,3	217,0	
Чистый вес активного железа статора, kg/kW . . . . .	1,075	1,03	1,065	
Вес меди обмотки статора, t. .	20,55	36,1	47,5	
Вес меди обмотки ротора, t. .	49,9	68,8	90,7	
Вес меди статора и ротора, t	70,45	104,7	138,5	
Вес меди статора и ротора, kg/kW . . . . .	0,704	0,68	0,692	
Коэффициент полезного дей- ствия . . . . .	98,26	98,36	98,29	
Перегружаемость $M_{\max}$ . . . .	2,61	2,57	2,68	
Синхронный реактанс по про- дольной оси . . . . .	0,665	0,706	0,636	
Переходный реактанс по про- дольной оси . . . . .	0,247	0,273	0,266	
Общий вес { генератора,	зонтичный . .	15,2	14,32	16,52
	подвесной . .	17,1	15,85	19,5

Сопоставление приведенных данных дает основание заключить, что (при равной устойчивости генераторов) по расходу активных материалов железа и меди, общему весу и к. п. д. вариант 150 MW имеет лучшие показатели.

Это объясняется тем, что при переходе с 100 на 200 MW снижается рабочая скорость, что обычно сопровождается ухудшением использования активных материалов.

Нагрузки на подпятник рассматриваемых вариантов показаны в табл. 4.

<sup>1</sup> В порядке обсуждения. Ред.



Таблица 4

	Вес ротора и вращаю- щихся частей гене- ратора, t	Вес турбинного колеса и реакция воды, t	Общая нагрузка на пята t
100 MW	850	1950	2800
150 MW	1270	2430	3700
200 MW	2200	3450	5650

Вышеуказанные нагрузки для рассматриваемых вариантов в несколько раз превосходят нагрузки выполненных подпятников в СССР и за границей. В табл. 5 приведены данные самых мощных подпятников в мире в сравнении с проектируемыми подпятниками для рассматриваемых вариантов.

Таблица 5

Наименование гидростанции	Нагрузка на пята, t	Наружный диаметр пята, mm	Удельная на- грузка на пята, kg/cm <sup>2</sup>	Кон- струк- ция пята	Тип турбины
Гембе . . . . .	680	1630	41	Сегмент	Капкан
Yburg Schwörstandt	900	2300	34,2	"	Френсис
Бодер-Дам . . . . .	910	2240	29,4	Пружинн.	"
Непрогес . . . . .	960	2340	30,8	"	"
Вирь III . . . . .	1170	2940	20,5	Сегмент	Капкан
Ойневилье-Дам . . . . .	1350	2840	28,2	Пружинн.	"
Убинск—Углич . . . . .	2000	3200	38	Сегмент	"
Куйбышев, вариант I 100 MW . . . . .	2800	3700	40	"	"
Куйбышев, вариант II 150 MW . . . . .	3700	4100	40	"	"
Куйбышев, вариант III, 200 MW . . . . .	5650	5000	40	"	"
Куйбышев, вариант II, 200 MW . . . . .	5650	4200	60	"	"

Задача выполнения пята для генераторов Куйбышевской гЭС, которые обеспечили бы полную надежность эксплуатации генераторов, является весьма ответственной и серьезной.

Нагрузка на пята агрегатов в 200 MW не позволяет выполнять их с нормальными в настоящее время удельными нагрузками 25—30 kg/cm<sup>2</sup> и максимум) 40 kg/cm<sup>2</sup>, так как размеры трущихся поверхностей подпятников при этих условиях настолько возрастают, что обработка их с достаточной степенью точности становится весьма затруднительной даже при наличии специальных станков. Также становится невозможным выполнение центральных частей несущих крестовин из-за их чрезмерных габаритов и весов. Выполнение же их разъемными не может считаться надежным как в отношении получения требуемой жесткости, так и получения одинаковых прогибов. При неравенстве прогибов центральной части крестовины может быть искажена нормальная работа пята.

Пята с удельной нагрузкой порядка 40 kg/cm<sup>2</sup> можно осуществить только для вариантов 100 и 150 MW. Для варианта 200 MW применение удельной нагрузки на пята 40 kg/cm<sup>2</sup> требует диаметра диска подпятника 5000 mm и диаметра центральной части 7400 mm при высоте 4100 mm и весе 294 t.

Таким образом выполнение генераторов на 200 MW требует осуществления повышенных удельных нагрузок на пята порядка 55—60 kg/cm<sup>2</sup>, что значительно превосходит удельные нагрузки выполненных пята.

Подпятники для вариантов 100 и 150 MW могут быть осуществлены на удельные нагрузки порядка 40 kg/cm<sup>2</sup> и при известных условиях могут быть выполнены нашими заводами. Подпятники для варианта 200 MW должны быть осуществлены на удельную нагрузку порядка 55—60 kg/cm<sup>2</sup>. Окончательное суждение о полной надежности этого подпятника можно будет иметь только после проведения необходимых исследовательских работ.

Основные варианты генераторов мощностью 100, 150 и 200 MW заводом разработаны в двух исполнениях — подвесном и зонтичном.

Данная проработка выявила недостатки и преимущества каждого выполнения и позволяет взвесить основные моменты для выбора мощности и типа генераторов.

Основное отличие зонтичного типа генератора от подвесного, как известно, заключается в установке упорного подпятника для первого типа на нижней крестовине и для второго — на верхней.

Это различие коренным образом меняет конструктивную компоновку генератора. При зонтичном типе пролет крестовины, воспринимающей основную нагрузку, зависит от диаметра турбинной шахты, который значительно меньше, чем диаметр корпуса статора, определяющий пролет верхней крестовины при подвесном варианте; уменьшение же величины пролета снижает значительно веса и габариты крестовин. Это отличие зонтичного типа от подвесного влияет также на размеры и веса поковок, валов, размеры и веса втулок роторов, корпуса статоров и т. д. Каждый из данных типов, кроме того, имеет целый ряд существенных преимуществ и недостатков в отношении монтажа, демонтажа и эксплуатации.

В табл. 6 приводим для сравнения основные данные генераторов.

Веса главных деталей генераторов в тоннах показаны в табл. 7. Сравнительные данные параметров крестовин всех рассмотренных вариантов — см. табл. 8.

Основные преимущества зонтичного варианта перед подвесным заключаются в следующем.

Уменьшение пролета и габарита несущей крестовины зонтичного варианта по сравнению с подвесным (что дает значительную экономию весов) упрощает получение требуемых материалов. Веса и габариты несущих крестовин подвесного варианта достигают значительных величин.

Кроме того, при зонтичном варианте нагрузка несущей крестовины передается непосредственно на бетон; при подвесном же варианте нагрузка должна быть передана через корпус статора, высота которого для варианта 200 MW достигает 5 m, и передача через него нагрузки свыше 5500 t

Таблица 6

Наименование	200 MW		150 MW		100 MW	
	подв.	зонт.	подв.	зонт.	подв.	зонт.
$\cos \varphi$ . . . . .	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Напряжение . . . .	15 550	16 000	15 000	15 000	15 000	15 000
Скорость вращения нормальная, об/мин	68,2	68,2	83,3	83,3	83,3	83,3
Скорость вращения угловая, об/мин . .	175	175	204	204	200	200
Общий вес, t . . . .	3 985	3 360	2 375	2 147	1 652	1 510
Вес ротора (без вала и втулки), t, около	1 800	910	1 040	1 042	665	658
Максимальный вес для монтажа, t . .	910	910	1 040	1 042	665	658
Вес турбинной части и реакция воды, t	3 450	3 450	2 430	2 430	1 950	1 950
Нагрузка на пяту, t	5 650	2 090	3 800	3 671	2 900	2 800
Удельное давление на пяту, kg/cm <sup>2</sup> . .	40	60	40	40	40	40

Таблица 7

Наименование	200 MW		150 MW		100 MW	
	подв.	зонт.	подв.	зонт.	подв.	зонт.
Корпус статора . . .	285,0	160,0	156,0	125,0	150,0	105,0
Обод ротора . . . .	600,0	600,0	710,0	710,0	420,0	420,0
Втулка ротора . . . .	114,2	72,0	65,0	46,0	57,3	42,0
Нижн. крестовина . .	132,0	381,0	65,3	201,5	34,6	167,4
Втулка подпятника . .	82,8	61,4	68,0	50,5	50,3	32,0
Подпятник . . . . .	152,5	70,0	68,0	78,0	56,0	40,0
Верхн. крестовина . .	628,0	80,0	360,0	60,0	270,0	35,0
Вал основной . . . .	145,6	139,0	70,0	107,0	89,0	91,0

требует осуществления корпуса статора соответствующей жесткости, что является выполнимым, но требует усложнения конструкции добавочной затраты материалов.

Габариты генераторов по высоте для генера-

торов при зонтичном исполнении меньше, чем для подвесных (если считать от фланца вала до основания комбинатора) соответственно для каждого варианта: при 100 MW — на 2,2 м; при 150 MW — на 4,25 м; при 200 MW — на 4,15 м.

Общие веса генераторов при зонтичном исполнении меньше, чем при подвесном, соответственно для каждого варианта: при 100 MW на 150 т; при 150 MW на 230 т; при 200 MW на 630 т.

При варианте зонтичного исполнения удается избежать непосредственной посадки втулок ротора на вал, что является трудной и ответственной операцией при данных размерах посадочных поверхностей и требует добавочных приспособлений и монтажной площади.

Кроме того, удается избежать передачи крутящего момента генератора на вал при помощи шпонок на валу и передавать этот крутящий момент через радиальные шпонки в месте установки втулки ротора на фланец вала, что является более совершенным.

При зонтичном варианте у генераторов отсутствует верхний направляющий подшипник, что упрощает всю систему смазки и дает возможность осуществить работу всех трущихся частей на самосмазке. Работа генератора на самосмазке повышает надежность работы генератора, облегчает и упрощает автоматизацию системы смазки.

При применении зонтичного варианта сокращается срок монтажа генератора, так как при подвесном исполнении придется лишиться раз устанавливать верхнюю крестовину для выверки пяты и нельзя будет вести параллельно монтаж турбины и генератора в полной мере.

При варианте зонтичного осуществления генераторов из-за условий монтажа и демонтажа для подпятника должен быть выполнен из двух частей, чего не требуется при подвесном исполнении. Наличие разъема диска подпятника для получения его равноценности с неразъемным стальным диском требует дополнительных требований в отношении точности его обработки и культуры производства.

Разборка подпятника производится вниз генератора, для чего требуется осуществление специальных приспособлений; этого не требуется для подвесного варианта, при котором разборка пяты осуществляется вверх при помощи кранового оборудования машинного зала. Однако эт

Таблица 8

	100 MW		Разница	150 MW		Разница	200 MW		Разница
	зонт.	подв.		зонт.	подв.		зонт.	подв.	
Расчетный пролет несущей крестовины, мм . . . . .	8 000	12 900	4 900	9 700	13 500	3 800	11 500	16 000	4 500
Нагрузка на крестовину, t . . . . .	2 800	2 800	—	3 700	3 700	—	5 650	5 650	—
Высота центральной части крестовины, мм . . . . .	2 800	3 100	300	3 100	3 500	400	3 500	4 100	600
Максимальный диаметр центральной части крестовины, мм . . . . .	5 600	5 600	—	6 200	6 500	300	6 500	6 600	100

преимущество подвешенного варианта уменьшается необходимостью каждый раз производить разарку золотника комбинатора, возбуждителя, вспомогательного генератора и съема втулки подшипника.

Ротор генератора 200 MW для уменьшения грузоподъемности кранов машинного зала выполняется из двух частей.

В зонтичном варианте для обеспечения спокойной работы двойного ротора осуществляется общая втулка на оба ротора конусообразной формы с сильно развитым основанием, к которым она устанавливается на фланец вала и с ним скрепляется. Жесткость самой втулки ротора благодаря ее большому диаметру и наличию ребер значительно превосходит жесткость самого вала, и тем самым обеспечивается передача усилий от возможного небаланса ротора непосредственно на направляющий подшипник.

Для вариантов 100 и 150 MW ротора выполняются нормально, и конфигурация спиц для обоих вариантов тождественна.

**Выводы.** Подводя предварительные итоги проведенной работы путем сопоставления основных перечисленных показателей, завод «Электросила» считает, что идти в настоящее время на изготовление генераторов мощностью выше 150 MW является нецелесообразным, так как при дальнейшем увеличении мощности трудности их изготовления резко возрастают.

В частности, следует иметь в виду:

а) Нагрузка на пяту становится чрезмерной и требует резкого повышения удельных нагрузок, что диктуется возможными габаритами при перевозке как самой пяты, так и несущей крестовины. Возможность дальнейшего повышения удельных нагрузок до 55—60 kg/cm<sup>2</sup> может быть выяснена после проведения глубоких исследовательских работ, до окончания которых нельзя будет дать ответа о выполнимости данного генератора, так как при столь ответственном задании базироваться на предположениях, не подтвержденных непосредственными данными, недопустимо.

б) Поковки по своим весам и размерам представляют значительные затруднения как в отношении их изготовления, так и для транспорта при их перевозке.

в) Размеры листов, необходимые для изготовления как несущих крестовин, так и дисков роторов, также выходят за пределы прокатываемых листов.

г) Размеры и веса сварных центральных частей несущих крестовин получаются чрезмерными, вопрос их изготовления и перевозки представляет большие трудности и требует большой затраты финансовых средств.

д) Расходы как активных, так и неактивных материалов на 1 kW для мощности 200 MW получаются большими, чем для вариантов 100 и 150 MW. Это объясняется более высоким числом оборотов вариантов 100 и 150 MW и значитель-

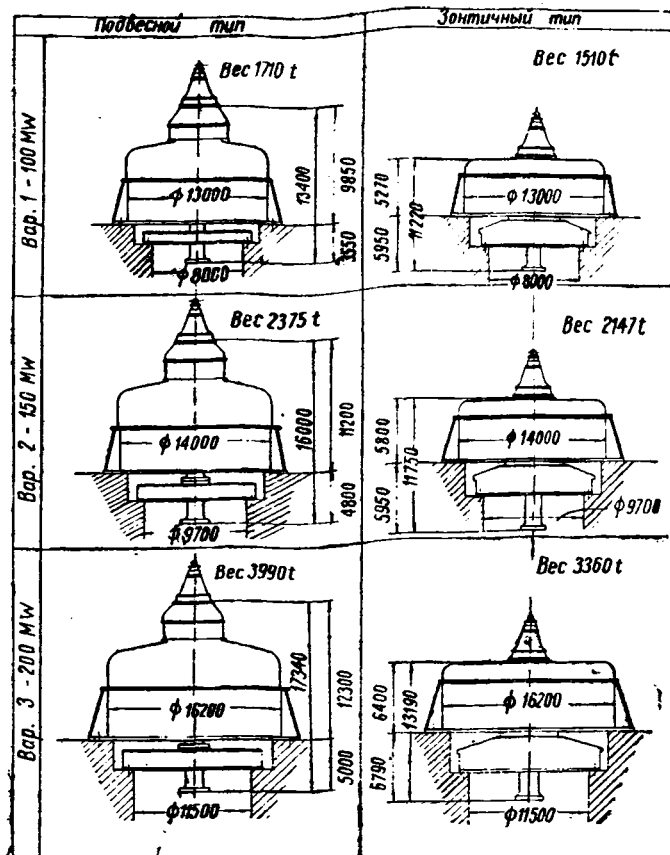


Рис. 1. Сравнительные габаритные и весовые данные всех рассматриваемых вариантов гидрогенераторов

но большим пролетом несущих крестовин для варианта 200 MW.

е) Кроме того, для варианта 200 MW из условий уменьшения грузоподъемности кранов машинного зала ротор генератора должен быть выполнен из двух совершенно самостоятельных частей, что вызывает увеличение высоты активного железа статора, усложняет конструкцию ротора и затрудняет выем полюсов в случае аварии с ними.

Таким образом изготовление генераторов на 200 MW хотя и не вызывает непреодолимых трудностей, но требует весьма резкого увеличения производственных баз наших поставщиков поковок, литья и проката, увеличения грузоподъемности специальных транспортеров для перевозки и т. д.

При сравнении вариантов 100 и 150 MW завод «Электросила» считает более желательным изготовление генераторов на 150 MW, так как по габаритам и весам отдельных деталей они сравнительно незначительно отличаются от варианта 100 MW, а количество единиц будет меньше, что облегчает их изготовление в отношении загрузки производства. В части типа генераторов завод считает, что на основе сравнения расхода материалов и габаритов, уменьшения сроков монтажа более целесообразно выбрать зонтичный тип на 150 MW.

# Проблемы развития электропривода в третьей пятилетке

А. И. ТОВСТОПАЛОВ, Д. П. МОРОЗОВ, А. Т. ГОЛОВАН

Московский энергетический институт им. Молотова

**И**СТОРИЧЕСКИЙ XVIII съезд ВКП(б) выдвинул в своем решении по докладу тов. В. М. Молотова о третьем пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР ряд важных проблем перед советской наукой и техникой.

Особо важное значение в третьем пятилетнем плане имеет задача обеспечения достойной социалистического общества высокой производительности труда. Выполнение этой задачи связано с всемерным повышением производительности машин-орудий, повышением надежности их работы, улучшением качества продукции, удешевлением себестоимости при максимально экономном потреблении сырья и энергии. Все это требует создания новых машин-орудий, ускорения их работы, применения для них совершенных приводов, внедрения автоматического и телемеханического управления машинами и технологическими процессами, что должно способствовать облегчению условий труда рабочих.

Известно, что за первую и вторую сталинские пятилетки электропривод и электроавтоматическое управление электроприводами, рабочими машинами и технологическими процессами получили в Советском Союзе большое развитие и широкое применение во всех отраслях промышленности. Дальнейшее совершенствование техники электропривода в промышленности и сельском хозяйстве требует еще большего подъема творческой изобретательской мысли стахановцев, инженеров, конструкторов и исследователей, работающих в различных отраслях электрификации народного хозяйства. В связи с этим мы намерены осветить некоторые проблемные вопросы электропривода и электроавтоматизации в третьей пятилетке.

**Машиностроение и машиностроительная промышленность.** Советскому машиностроению принадлежит ведущая роль в техническом вооружении народного хозяйства. Поэтому вопросам электропривода станков и автоматизации технологических процессов в машиностроительной промышленности должно быть уделено серьезное внимание. В настоящее время наиболее распространенным электроприводом на машиностроительных заводах являются короткозамкнутые (к. з.) одно- или многоскоростные асинхронные двигатели (многоскоростные к. з. асинхронные двигатели применяются для станков, которые допускают ступенчатое регулирование скорости вращения). Этот тип электропривода должен и в дальнейшем широко применяться для станков, которые не требуют регулирования скорости вращения или допускают ступенчатое регулирование скорости вращения. Такое решение возможно потому, что к. з. асинхронный двигатель вполне

удовлетворяет требованиям данной группы станков.

Кроме того, рациональная конструкция к. з. асинхронного двигателя вполне надежна в эксплуатации, его производство просто, и стоимость значительно ниже, чем других двигателей переменного и постоянного тока.

Однако имеется ряд металлообрабатывающих станков, которые требуют относительно широкого регулирования скорости вращения, частых пусков, частого останова и изменения направления вращения. Относительно широко и плавно регулировать скорость вращения станков при помощи асинхронных двигателей без применения специальных схем невозможно. До последнего времени регулирование скорости вращения большинства станков осуществляется механическими средствами (механические передачи, ступенчатые шкивы и т. д.). Такое решение вопроса усложняет конструкцию и обслуживание станка, увеличивает время производства станка, увеличивает его стоимость, повышает расход материала, ухудшает энергетические показатели станка и все же зачастую не дает возможности подобрать нужную экономичную скорость резания.

Если еще далее учесть, что в третьей пятилетке наша машиностроительная промышленность должна будет производить высокоскоростные станки и что механические редукторы для работы при высоких скоростях еще более неприемлемы, чем для работы при низких скоростях, то становится очевидной необходимость создания и применения для привода данной группы станков рационально устроенных регулируемых электроприводов. Поэтому мы считаем, что приводы постоянного тока для станков и в машиностроительной промышленности надо будет применять в третьей пятилетке значительно шире, чем они применялись до сих пор, так как электроприводы постоянного тока обладают относительно высокими регулировочными свойствами.

Напомним, что приводы постоянного тока, а в особенности специальные схемы постоянного тока (схема Вард-Леонарда и ее различные модификации), способны допускать значительно большее число включений, чем двигатели переменного тока, что объясняется тем, что двигатели постоянного тока обладают одной цепью бокового тока, а двигатели переменного тока — двумя цепями (первичной и вторичной). Кроме того, приводы постоянного тока допускают более легкое осуществление автоматизации управления ими, чем приводы переменного тока. Однако, что оба эти свойства приводов постоянного тока очень важны для станков, которые требуют большей частоты включения.

Применение приводов постоянного тока в машиностроительной промышленности выдвигает все более резко очень актуальную проблему: существование существующих и создание новых источников постоянного тока. Уже сейчас можно утверждать, что статические преобразователи переменного тока в постоянный обладают рядом преимуществ технического и экономического порядка по сравнению с вращающимися. Поэтому перед заводами и научно-исследовательскими организациями стоит неотложная задача скорейшего освоения и производства новых, более совершенных статических преобразователей (ртутных выпрямителей с управляемыми лампами, тиратронов, игнайтронов и т. д.), а также разработки и производства схем управления этими преобразователями.

Техника электропривода располагает и другими типами регулируемых электроприводов. К ним относятся различные каскады переменного тока, специальные схемы для питания двигателя переменной частоты, коллекторные двигатели переменного тока и т. д. Технические эксплуатационные свойства этих приводов настоящее время таковы, что рекомендовать их для применения в качестве приводов для станков еще нельзя. Однако есть основания полагать, что если бы удалось несколько упростить схему преобразователя типа Костенко-Ямпольского, а главным образом создать технически совершенные статические преобразователи частоты, то возможно было бы создать и применять широко в металлопромышленности регулируемые электроприводы переменного тока. Поэтому необходимо работать над созданием и производством рациональных преобразователей частоты для электроприводов переменного тока.

Весьма существенным является выяснение вопроса о пределах применимости коллекторных двигателей переменного тока. Наши заводы в настоящее время не производят этого типа машин. Это объясняется тем, что коллекторные машины обладают серьезным органическим недостатком: наличием коллектора, которому приходится работать в среде переменных полей, что обуславливает в ряде случаев несовершенную коммутацию. Кроме того, этот тип машины несколько дороже не только асинхронных двигателей, но даже двигателей постоянного тока. Однако отмеченные недостатки коллекторных машин переменного тока еще не могут служить основанием для того, чтобы полностью отказаться от их применения в промышленности и, в частности, для привода некоторых станков. Наоборот, есть примеры того, что за границей применяют коллекторные двигатели для привода рабочих машин, в том числе и для привода станков.

Мы считаем, что коллекторные двигатели типа Шраге обладают рядом свойств, которые позволяют этому двигателю найти применение и для привода станков, хотя этот двигатель является двигателем с постоянным моментом, а металлообработывающие станки требуют регулирования момента при постоянной мощности. Поэтому необходимо заводам работать над совершенствованием этого типа двигателя и начать производство двигателей типа Шраге в третьей пятилетке. Работникам же в области электропривода и

проектным организациям следует пересмотреть свое отношение к коллекторным машинам переменного тока, выявить объекты их применения и применять эти машины там, где это целесообразно.

Некоторые типы станков требуют точного останова. Особенно остро проблема точного останова возникает в станках, автоматах и полуавтоматах. В третьей пятилетке производство и выпуск этих станков значительно расширяются, поэтому в настоящее время эта проблема становится весьма актуальной. Не касаясь здесь механических тормозов и вопроса применения электромагнитов для торможения, напомним, что наиболее распространенным способом торможения электроприводов является торможение противовключением или применение динамического торможения.

Применение торможения противовключением приводов станков требует предусмотреть в схеме так называемое реле останова, которое выключало бы двигатель при достижении им нулевой скорости. До сих пор наши заводы не освоили и не производят приемлемых для целей практики реле останова. Производство этого аппарата надо освоить и выпуск их в нужном количестве надо ускорить.

Динамическое торможение двигателей переменного тока связано с применением для их возбуждения в этом режиме постоянного тока. Для этих целей наиболее приемлемым источником постоянного тока являются купроксные выпрямители. Однако существующие выпрямители этого типа работают неустойчиво, и срок службы их не велик. Освоение и производство названных выпрямителей является также неотложной задачей заводов.

Ряд новых задач перед теорией и практикой электропривода выдвигается в связи с возникновением и развитием агрегатных станков. Для этого типа станков приходится применять многодвигательный электропривод, а потому необходимо работать над созданием таких электроприводов и схем управления.

Надо отметить, что в настоящее время отсутствуют теоретические основы проектирования схем управления исполнительными механизмами. Последнее особенно важно для металлостанков, у которых весьма сложна кинематика, но не менее это важно и для исполнительных механизмов с относительно простой кинематикой. Теоретическая разработка вопросов проектирования схем управления принесла бы большую пользу для дела автоматизации управления.

В третьей пятилетке намечается постройка заводов кузнечно-прессового оборудования. В связи с этим теорией и практике электропривода предстоит решить ряд серьезных задач.

Прежде чем наметить эти задачи, нам хотелось бы констатировать нынешнее положение с этими машинами. Так например, паровые молота, парогидравлические прессы и фрикционные винтовые прессы имеют очень низкие энергетические показатели (к. п. д. этих машин достигает нескольких процентов). Причинами такого низкого к. п. д. является применение в первых двух машинах в качестве двигательной силы пара, а в фрикционных винтовых прессах — наличие фрикционной

передачи. Поэтому возникает весьма важная проблема отказа от паровых молотов, создания электромеханических молотов, замены парогидравлических прессов электрогидравлическими и устранения фрикционных передач из винтовых прессов путем применения для них реверсивного электропривода.

Ряд машин из числа кузнечно-прессовых в настоящее время уже обслуживается электроприводами. Но предстоит еще проделать большую работу, чтобы создать более рациональные электроприводы и схемы управления. В частности, надо добиться безаварийной работы электроприводов этих машин, надо также работать над созданием безопасных условий обслуживания и управления кузнечно-прессовыми машинами. Очевидно, что эти условия могут быть созданы на базе более широкой автоматизации и телемеханизации управления этими машинами.

В настоящее время ни прикладная механика ни теория электропривода не располагают методами правильного подсчета потребной мощности для станка при данном режиме работы, а следовательно, для правильного выбора габарита двигателя. Имеющиеся данные по этому вопросу позволяют утверждать, что 75% металлообрабатывающих станков обслуживаются двигателями с завышенной мощностью. Если учесть, что число металлообрабатывающих станков на наших заводах весьма велико, то станет очевидным, что проблема правильного выбора габарита двигателя имеет большое народнохозяйственное значение и что над ее разрешением надо энергично работать.

Пути решения этой задачи — это организация планомерного и систематического сбора статистических данных о работе действующих станков, обобщение этих данных и использование их при последующем проектировании новых установок и заводов. В заключение этого раздела перечислим дополнительно некоторые элементы электропривода станков, которые необходимо осваивать и производить в третьей пятилетке: а) электродвигатели и аппаратуру на высокую частоту включений (1000—5000 вкл. в час); б) электромагниты малых размеров для высокой частоты включения; в) электромагнитные быстродействующие муфты; г) специальную контрольно-измерительную аппаратуру для измерения линейных размеров, давления, сил, температуры, скорости и т. д.; д) аппаратуру защиты рабочих машин и электроприводов. Особенно остро стоит вопрос относительно аппаратов термической защиты электродвигателей. Надо отметить, что создание надежно работающей термической защиты требует прежде всего более глубокого изучения тепловых процессов, имеющих место в двигателях при различных режимах работы.

**Металлургическая промышленность.** Третий пятилетний план выдвигает ответственные задачи перед электротехниками Советского Союза в области электрооборудования металлургических заводов, правильное и полноценное разрешение которых поднимет нашу металлургическую промышленность на еще более высокий технический уровень. Эти задачи надо разрешать в следующих направлениях: обеспечение вновь вводимых производственных агрегатов высокосовременным

электрооборудованием и полная автоматизация производственных процессов; освоение в действующих цехах и заводах полной производственной мощности агрегатов и исполнительных механизмов.

Как сказано выше, значительное повышение производительности оборудования должно временно сопровождаться увеличением качества выпускаемой продукции при снижении удельных расходов энергии. В связи с этим научное обеспечение качественных и количественных показателей энергетики производственных процессов должно быть поставлено значительно шире, это имело место до сих пор. Это касается как исполнительных механизмов, электромашинного оборудования и схем управления.

В частности, к настоящему времени в зарубежной и в нашей практике недостаточно изучены физические процессы прокатки, нет удовлетворительной теории прокатки и нет достоверных формул для расчета энергетических процессов. В солидных учебных курсах вопросам расхода энергии при прокатке и методам расчета их уделяется совсем малое внимание, и освещаются скорее формально, чем по существу.

Известно, например, благоприятное влияние балков малого диаметра на расход энергии и качество продукции в станах холодной прокатки. В работах по теории прокатки этот вопрос находится надлежащего освещения. Необходимо форсировать планомерное систематическое обеспечение энергетических и физических процессов прокатки как на действующих объектах, так и в лабораторных условиях.

До сих пор распространено ошибочное и вредное мнение, что вопросы к. п. д. электропривода и экономии электроэнергии на металлургических заводах не имеют существенного значения. Если учесть, что на металлургических заводах применяются агрегаты большой мощности и имеет место многократное преобразование энергии для питания, то становится очевидной особая актуальность, которую приобретает вопрос о рациональных типах электроприводов и экономии расходовании электроэнергии.

Как на пример расточительного расходования электроэнергии, укажем на распространенный тип электропривода — асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Стремление, теперь не имеющее значения, — выравнивать график нагрузки двигателя приводит к работе со скольжениями в 12—13%, а значит, и к таким же потерям. При недостаточно умелой эксплуатации действительно наблюдаемое скольжение значительно превышает указанные значения.

Замена этого неэкономичного электропривода диктует необходимость форсировать внедрение синхронных двигателей вплоть до мощностей 5000 kW и выше с применением автоматического действующей форсировки возбуждения. Нужно ускорить научную разработку вопросов автоматического регулирования возбуждения и коэффициента мощности мощных синхронных двигателей. Опыт применения мощных синхронных двигателей для приводов с ударной нагрузкой (вод им. Дзержинского) дал положительные результаты.



Вторым ярким примером нерационального электропривода и расточительного расходования электроэнергии является электропривод с двигателями постоянного или переменного тока с реостатным управлением для исполнительных механизмов повторно-кратковременного режима, работающими главным образом в переходных режимах (рольганги, кантователи, манипуляторы, ножницы, нажимные устройства). Эксплуатационный п. д. этих установок (за цикл) не выше 15%. Жалована целесообразность применения для этих станков системы Леонарда, которая способна при меньшем потреблении энергии увеличивать производительность за счет более быстрого протекания переходных процессов.

Необходимо быстрое проведение в жизнь постановления Харьковского совещания по электроприводу о внедрении нормальной системы Леонарда, а также системы Леонарда со специфическими характеристиками (трехобмоточный генератор). Последний тип электропривода нашел применение у вспомогательных механизмов слябката (Inland Steel Company), и опыт его эксплуатации дал положительные результаты.

Заслуживает серьезного внимания перевод индивидуального регулируемого привода роликов рольгангов с переменного тока на индивидуальный привод с двигателями постоянного тока и управлением от одного генератора (в цепи его возбуждения). Очевидными являются здесь экономия электроэнергии, увеличение производительности и простота обслуживания агрегата.

Подавляющее количество двигателей исполнительных механизмов металлургических заводов работает в условиях переходных процессов. Только в результате всестороннего изучения этих процессов возможно установление рациональных режимов, правильный выбор типа электропривода, режим быстрого регулирования и проектирование схем управления. К числу наиболее актуальных тем, нуждающихся в дальнейшей теоретической и экспериментальной разработке в этой области, необходимо отнести изучение переходных процессов и динамического падения скорости в двигателях непрерывных станов, изучение работы быстродействующих регуляторов скорости и напряжения для этих же двигателей. Необходимо детальное изучение переходных режимов в машинах постоянного тока с учетом взаимодукии и взаимоиндукции обмоток главных цепей; тоже — и в отношении машин переменного тока. Необходимо всестороннее изучение явления моментов статического сопротивления исполнительных механизмов и совершенствование методов динамических расчетов электроприводов. Особенно нуждаются во всестороннем изучении неизученные процессы в реверсивных станах одной прокатки. Сложный производственный процесс этих станов предписывает особо строгий тщательный выбор параметров электрических машин и систем регулирования. Трудность изучения осложняется здесь наличием переменных моментов статического сопротивления. Дальнейший рост производительности освоенных прокатных станков требует исследования их в условиях эксплуатации. Заводские лаборатории на многих металлургических комбинатах, имеющие солидный парк точных измерительных и регистрирую-

щих приборов (осциллограф), должны выполнять эту настоятельно диктуемую работу при участии и поддержке центральных научно-исследовательских институтов.

Если в области создания электроприводов и электрооборудования станков горячей прокатки у наших машиностроительных заводов и проектных организаций накопился большой опыт, а теория и практика этих вопросов значительно продвинуты в своей разработке, то в производстве электромашинного оборудования и элементов схем управления, а также проектирования схем управления для станов холодной прокатки у нас большого опыта нет. Поэтому необходимо срочно приступить к разработке указанных вопросов с тем, чтобы при выполнении программы третьей пятилетки в этой области можно было принимать наиболее рациональные решения.

Не меньшее значение для народного хозяйства имеют также и следующие вопросы, которые требуют теоретической и практической разработки.

Нужно выяснить возможность применения электроприводов переменного тока для некоторых вспомогательных механизмов прокатных и других цехов металлургических заводов повторно-кратковременного режима.

Необходимо создание рациональных машин постоянного тока металлургического типа на 500 В. Эта работа потребует коллективных усилий научно-исследовательских институтов и электромашиностроительных заводов.

Необходимо добиться частичной замены релейно-контакторной автоматики — электронной. Применение электронной автоматики способно дать ряд положительных результатов: повышение производительности установки, уменьшение шума, уменьшение площадей, занимаемых контакторными панелями, а зачастую и значительное упрощение схем управления. Кроме того, ряд процессов, которые при помощи релейно-контакторной автоматики автоматизировать затруднительно или вообще невозможно, при помощи электронной автоматики автоматизировать просто. Следует усилить работу в области комплексной автоматики прокатных механизмов, учтя при этом накопившийся опыт на заводах им. Кирова и им. Дзержинского.

Необходима замена вращающихся мотор-генераторов ртутными выпрямителями в качестве источников постоянного питания электроприводов прокатных механизмов, в том числе и реверсивных.

**Уголь и нефть.** Наиболее важными и вместе с тем наиболее сложными исполнительными механизмами угольных шахт являются шахтный подъемник и врубовая машина. Основные вопросы электропривода шахтных подъемников, сводящиеся к электрическому регулированию скорости, управлению ускорением, замедлением и изменением направления вращения, короче говоря, — к выполнению заданной тахограммы скорости, решаются в настоящее время применением либо электропривода от асинхронного двигателя либо, более редко, электропривода постоянного тока, контролируемого схемой Леонарда при потребности в специальной тахограмме. Актуальными проблемами в этой области является создание рационального привода постоянного тока, управ-

ляемого от ртутного выпрямителя с сеткой, а также полная автоматизация процесса загрузки, подъема и выгрузки клетей подъемника. Что же касается врубовой машины, то основное направление усовершенствования ее привода должно идти по пути создания рациональных схем автоматического управления подачей и создания электропривода, способного выдерживать большие перегрузки.

Необходимо также работать над улучшением технико-экономических свойств компрессорного и вентиляторного парка шахт. Здесь важнейшими задачами являются повышение надежности их работы и уменьшение потребления энергии.

Буровые станки и глубокие насосы являются одними из важнейших исполнительных механизмов нефтяной промышленности. Надо отметить, что над созданием рациональных электроприводов для этих машин до сих пор проектные организации, электромашиностроительные и аппаратостроительные заводы работали недостаточно. Эти исполнительные механизмы играют столь большую роль в нефтяной промышленности, что вопросам создания для них рационального привода должно быть уделено большое внимание. В частности, для буровых станков должны быть решены такие вопросы, как создание экономичного технически рационального электропривода, создание совершенной схемы автоматического управления подачей и т. д.

**Текстильная промышленность.** В третьей пятилетке текстильное машиностроение и текстильная промышленность должны значительно увеличить свою продукцию. В частности, выпуск ватеров должен увеличиться в 6 раз. Поэтому стоит задача разработать современный электропривод для ватеров. В настоящее время типовым приводом ватеров является привод от асинхронного двигателя. Однако этот тип привода не удовлетворяет требованиям ватера, ибо ватер требует относительно широкого изменения скорости вращения для сохранения постоянства натяжений нити в процессе прядения. Это диктует необходимость применения к ватерам регулируемых приводов для совместной работы с регуляторами прядения. Есть основания считать, что если удастся устранить имеющиеся недостатки у двигателей Шраге, то последний возможно будет применить для привода ватеров.

Большие возможности для привода кард-машин открыл сегментный статор инж. Фридкина. Следует отметить, что этот тип привода при его дальнейшем усовершенствовании сумеет найти широкое применение и для других рабочих машин, как, например, углеразмольные мельницы.

В значительной рационализации существующих электроприводов нуждаются также ситцепечатные машины, каландры, карды и другие исполнительные механизмы. Есть большие возможности для применения в текстильной промышленности

фоторелейной и электронной автоматики как для управления приводами и рабочими машинами, так и для автоматизации технологических процессов. Однако эти возможности в текстильной промышленности до сих пор использованы совершенно недостаточно.

В третьей пятилетке текстильная промышленность должна получить экономический и технически совершенный электропривод, современную аппаратуру и схемы управления. Необходимо также отметить, что работники проектных организаций, занимающиеся проектированием электроприводов и электрооборудования текстильных предприятий, недостаточно используют опыт других отраслей промышленности, а более широкое использование этого опыта могло бы значительно облегчить работу по вооружению текстильных предприятий современным электроприводом. Надо в ближайшее же время заняться обобщением данных эксплуатации действующих установок текстильных предприятий для того, чтобы возможно было учесть эти данные при проектировании новых установок.

В заключение мы считаем нужным заметить, что затронутые в статье вопросы только в незначительной степени освещают имеющиеся проблемы в области развития электропривода и электроавтоматизации в третьей пятилетке. Проблемы эти настолько велики и число их настолько велико, что не только для их разрешения, но даже и для того, чтобы их выявить и сформулировать, необходимы усилия более широкого круга работников. В частности, нами совершенно не рассматриваются вопросы электропривода и электроавтоматизации следующих отраслей промышленности, заводов и механизмов: химической, бумажной и полиграфической, цементных заводов, заводов пищевой промышленности, коммунально-бытовых предприятий, подъемно-транспортных механизмов, доменных, мартеновых цехов металлургических заводов, литейных и ревообрабатывающих цехов машиностроительных заводов, установок собственных нужд электростанций, судов и судовых механизмов и ряд других установок. В особом рассмотрении нуждаются вопросы электропривода в производстве процессах сельского хозяйства, куда постепенно все больше и больше начинает проникать электрическая энергия.

Правда, ряд отмеченных нами проблем является общим для перечисленных выше объектов, но эти объекты имеют свои существенные особенности, которые требуют тщательного изучения.

Надо считать весьма желательным, что другие работники в ближайшее время выйдут в печати свои соображения и поделились своим опытом работы в теории и практике проектирования и создания электроприводов, опытом эксплуатации электроприводов.



# Прогресс современной техники электропривода

Л. Б. ГЕЙЛЕР  
МОСКВА

РЕЗОЛЮЦИИ по докладу тов. В. М. Молотова о третьем пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР на XVIII съезде ВКП(б) предусматривается «...дальнейший значительный рост технического вооружения всех отраслей народного хозяйства и, следовательно, всемерное развитие машиностроения и всей тяжелой промышленности, решительное улучшение всей организации и технологии производства с широким применением новейших достижений науки и изобретений...». Выполнение этих задач третьей пятилетки связано с дальнейшим ростом электрификации промышленности и других отраслей народного хозяйства, с внедрением в процессы производства новейших достижений техники электродвигательного привода, краткий обзор которых по ряду направлений дается в настоящей статье [1].

Некоторые конструктивные особенности новых электродвигателей. Объединение рабочей машины вместе с ее приводным двигателем в единый агрегат, как одно из характернейших выражений современного электропривода, является причиной разнообразных конструктивных оформлений электродвигателей. Примеры такого объединения показаны на рис. 1 (одноступенчатый электронасос) и рис. 2 (многошпиндельный сверльный станок с пятью электродвигателями шпиндельного типа). Другой пример — так называемые двигатели с внешним ротором, внутри которых помещается заклиненный на валу неподвижный статор [2]. Такие двигатели применяются в случаях для привода деревообделочных и фрезерных станков. Особые преимущества двигателя с внешним ротором в приводе фрезерных станков большой производительности: характерные здесь толчки нагрузки смягчаются увеличенными маховыми массами внешнего ротора, и двигатель может быть выбран любой мощности. Большое развитие получают двигатели в приводе ленточных конвейеров, внешний ротор служит одновременно приводным барабаном.

Особенная конструкция двигателя применяется для некоторых приводов в текстильной промышленности в США (рис. 3).

Из-за, вследствие ограниченности габаритов установки самого двигателя и ременной передачи от него, использован фасонный шкив конической формы, охватывающий на всю длину корпус двигателя и позволяющий погрузить ремень в середине осевой длины двигателя. В связи с этим и сам корпус двигателя установлен на фундаментной плите также необычной формы.

Такая специальная конструкция двигателя может быть продиктована особыми условиями эксплуатации привода. Так например, вопросы охлаждения двигателей, рассчитанных для тяжелой службы, представляют немало труд-

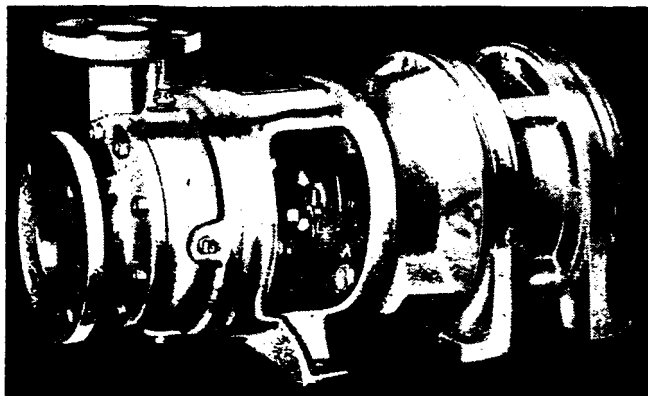


Рис. 1. Современная американская конструкция электронасоса

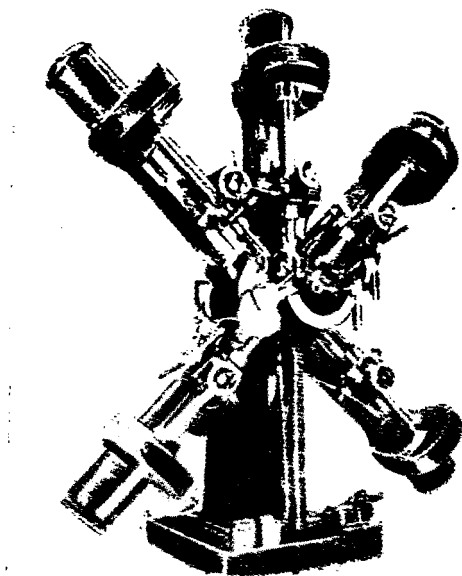


Рис. 2. Многошпиндельный сверльный станок с 5-ю электродвигателями

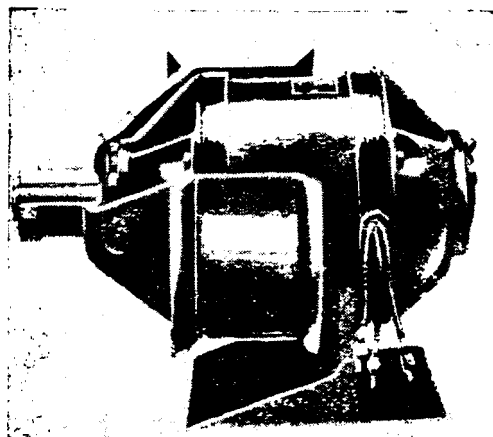


Рис. 3. Электродвигатель с шкивом специальной формы

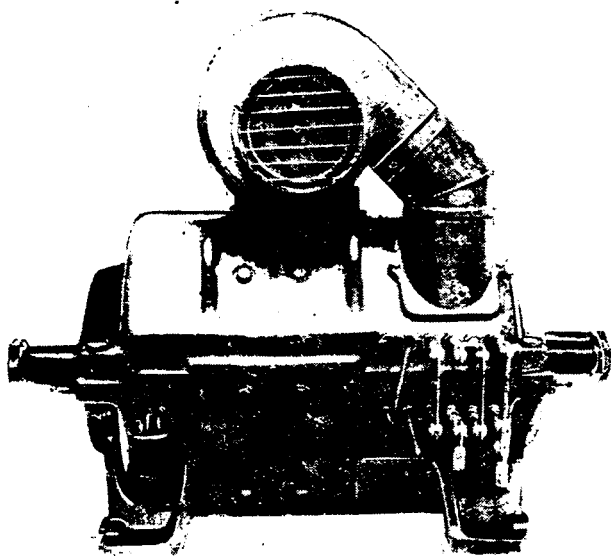


Рис. 4. Двигатель постоянного тока металлургического типа с пристроенным электровентилятором трехфазного тока

ностей для конструкторов и заставляют их зачастую прибегать к чисто искусственным решениям.

По этой причине в одной из конструкций фирмы GEC для добавочного охлаждения двигателя постоянного тока металлургического типа (рис. 4) пришлось на его корпусе установить электровентилятор с короткозамкнутым асинхронным двигателем.

**Облегчение веса электрооборудования.** Для всякого рода передвижных установок (автомобили, суда, самолеты, поезда и пр.) большое значение имеет проблема снижения веса электрооборудования и в особенности — электродвигателей. Существенные результаты в этом направлении даст применение теплостойкой изоляции. Такая изоляция («апироль», «дуригнит»), относящаяся к классу «В», позволяет работать с температурой перегрева обмоток не только на  $30^{\circ}$  (по нормам для изоляции класса «В»), но и до  $120^{\circ}$ ; следовательно, абсолютная температура нагрева обмоток может достигать без ущерба для двигателя  $+155^{\circ}$ . При этом имеет место значительное повышение мощности и использования двигателя (см. табл. 1). Для советской электротехники пользование теплостойкой изоляцией не является новостью. Можно указать, например, на удачное применение такого рода изоляции на ХЭТЗ им. Сталина в двигателях типа МД для врубовых машин [3].

Другое средство для облегчения веса электрооборудования в специальных случаях — применение корпусов машин и аппаратов из силумина вместо чугуна. Для этой же цели применяются магниевые сплавы, как, например, электрон. Применение магниевых сплавов в качестве конструктивного материала для неактивных частей (корпус, подшипниковые щиты, шкив, вентиляторы) электрических машин позволяет снизить общий вес, уменьшить давление на опоры, облегчить фундаменты, снизить расходы по транспорту машин, снизить расходы по обработке корпуса и конструктивных частей, а также несколько (на

Таблица  
Повышение мощности асинхронных двигателей при уменьшении асбестовой изоляции «дуригнит»

Норм. данные, (с изоляцией класса А)	Мощность при изоляции «Дуригнит»; нагрев на $80^{\circ}$ С	Мощность при изоляции «Дуригнит»; нагрев на $120^{\circ}$ С	Повышение мощности в % соответственно нагреву на:		Повышение мощности в %
			$80^{\circ}$	$120^{\circ}$	

Защищенный тип с вентиляцией

11 kW 1500 об/мин	12 kW	14 kW	9	27	И
38 kW 1500 об/мин	43	50	13	32	Г
8 kW 1000 об/мин	9	10,5	13	31	Б
28 kW 1000 об/мин	32	37	14	32	И

С внешним обдувом

36 kW 1500 об/мин	46 kW	53 kW	28	47	Г
----------------------	-------	-------	----	----	---

10—20%) снизить расход активной меди и железа за счет лучшей теплопроводности магниевых сплавов. Так, вес асинхронного короткозамкнутого двигателя в 3 kW, 1500 об/мин, пристроенного из электрона, составляет всего 31,5 kg или 10,5 kg/kW вместо 15—18 kg/kW у двигателей обычной конструкции [4].

В 1938 г. появились сообщения об удачных результатах применения так называемой стеклянной изоляции (т. е. пряжи и лент из тончайших стеклянных нитей) в электромашиностроении США.

Стеклянная изоляция является новым фактором, содействующим как облегчению веса электродвигателей, так и расширению областей применения электрического привода. Стеклянное локно не гигроскопично, хорошо выдерживает воздействие кислот, масел и разъедающих веществ, а главное допускает длительно выдерживать нагрев, до  $200—250^{\circ}$  С без всяких повреждений. Кроме того, толщина слоя стеклянного волокна соответствует примерно толщине двойной шелковой нити.

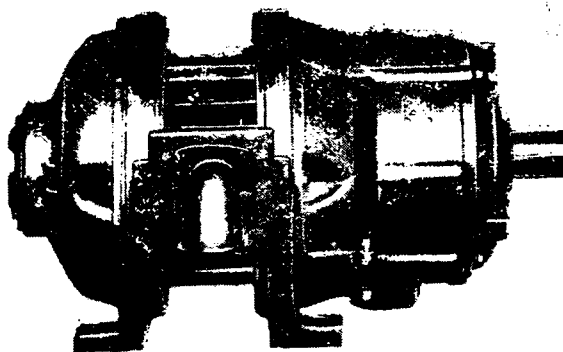


Рис. 5. Редукторный двигатель фирмы GEC в открытом исполнении

изоляции. Поэтому коэффициент заполнения этого вида изоляции выше, чем у пряжи, бумаги, асбеста и т. д. Благодаря этому в малых машинах без увеличения их габаритов и размеров возможно закладывать сечения меди на 10–15% больше, чем при обычной изоляции. Такие образцы двигателей со стеклянной изоляцией были применены в электрической тяге (дирижаблестроение, трамвай). Одна американская фирма пересчитала свою серию двигателей 1938 г. на стеклянную изоляцию. При этом оказалось, например, двигатель в 7½ л. с. по габаритам — на одну треть меньше, а по весу — на ½ легче, чем такой же двигатель с нормальной изоляцией [5].

**Свойства постоянного тока.** Во всех случаях, где требуется значительная мощность двигателя при одновременном требовании широкой регулировки скорости, частых пусков или реверсов, электродвигатель постоянного тока остается попрежнему конкурентоспособным. Для привода реверсивного прокатного стана в 1937 г. был изготовлен одноякорный двигатель постоянного тока, развивающий номинальный момент в 350 тм, соответственно номинальная мощность в 19 000 kW при числе полюсов от 0 до ±53/120 [6]. Этот двигатель, построенный по схеме Леонарда, является одной из наиболее мощных в мире машин постоянного тока. Сдвоенный двигатель постоянного тока в 1000 л. с. при 214 об/мин был выпущен недавно заводом «Электросила» им. Кирова [7]. Известно, что при общей установленной мощности электрооборудования на американских металлургических заводах в 6 млн. kW двигатели постоянного тока составляют 87% от общего их количества.

**Упрощение схемы пуска.** Большое значение для промышленности имеет удовлетворительное решение задачи непосредственного, прямого пуска этих высоковольтных синхронных и асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором большой мощности. Прямой пуск упрощает обслуживание, удешевляет установку (так как отпадает необходимость в автотрансформаторах и пр.) и облегчает автоматизацию управления агрегатами. В последнее время были изготовлены следующие двигатели с к. з. ротором для пуска с прямым включением на сеть 50 Hz, 3900 kW, 0 V, 2970 об/мин, 4100 kW, 10 000 V, 0 об/мин (оба двигателя — для привода турбокомпрессора), 4000 kW, 6000 V, 125 об/мин (для

привода поршневого компрессора). Пусковой ток этих двигателей равен примерно удвоенному номинальному току.

В качестве другого примера можно указать на установку, которая была оборудована в связи с проектом регулирования течения р. Колорадо в США. Эта установка состоит из 6 насосных агрегатов с приводом каждого от синхронного двигателя в 12 500 л. с. 450 об/мин и замечательна тем, что все двигатели пускаются в ход непосредственным включением на сеть 6900 V. Совершенно очевидно, что промышленное освоение такого типа двигателей упирается в целый ряд предварительных исследовательских, экспериментальных работ, связанных не только с вопросами изоляции и перенапряжений, но и механической прочности, нагрева, динамических условий всего привода в целом и т. д.

**Электроприводы с низкими скоростями рабочего вала** (от 200 об/мин и ниже) имеют весьма большое распространение в промышленности. Получение низких скоростей на рабочем валу представляет для конструкторов электропривода сравнительно сложную задачу, так как электрические параметры (к. п. д., cos φ), вес и стоимость тихоходного двигателя менее благоприятны, чем у быстроходного.

Наиболее распространенное в практике решение этой задачи состоит в применении редукторных двигателей, т. е. сочетания быстроходного двигателя с редукторной передачей в одном агрегате. В дополнение к уже ранее опубликованным данным по редукторным двигателям [1] здесь можно указать диапазоны передач у современных редукторных двигателей. У первой группы редукторных двигателей с елочными или шевронными зубчатками передаточные числа составляют: при одноступенчатой передаче до 1:5; при двухступенчатой от 1:5 до 1:18; при трехступенчатой от 1:18 до 1:45. Мощность, на которую в настоящее время изготавливаются редукторные двигатели этой группы до 500 kW. У второй группы редукторных двигателей — с планетарным зацеплением — одноступенчатая передача позволяет осуществить передаточные числа до 1:71.

Недавно был изготовлен редукторный двигатель, у которого в одном корпусе помещены планетарные передачи, снижающие скорость в отношении 1:10 000, причем крутящий момент на тихоходном валу составляет 2000 kgm.

На рис. 5 представлен современный редукторный двигатель, в открытом исполнении, фирмы ГЕС.

Некоторые конструкции, полученные при применении редукторных двигателей, видны из рис. 6 (электропривод шлифовального круга) и рис. 7 (электропривод машины для мойки бутылок). Несколько необычная конструкция редукторного привода большой мощности приведена на рис. 8. Здесь быстроходный синхронный двигатель в 400 л. с. 600 об/мин приводит в движение шаровую мельницу с 30 об/мин помощью одноступенчатой передачи. При этом зубчатые венцы расположены непосредственно по окружности барабана мельницы. Эта конструкция является типовой для современных американских установок с шаровыми мельницами [8].

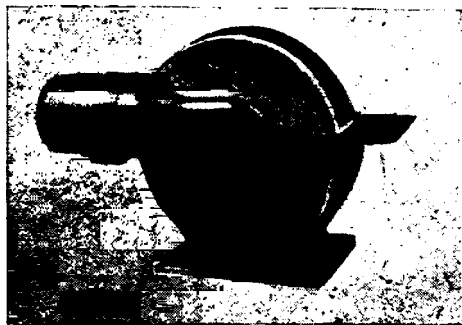


Рис. 6. Электропривод шлифовального круга помощью редукторного двигателя

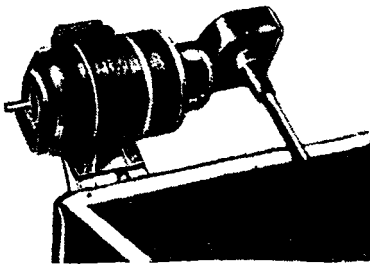


Рис. 7. Электропривод машины для мойки бутылок помощью редукторного двигателя

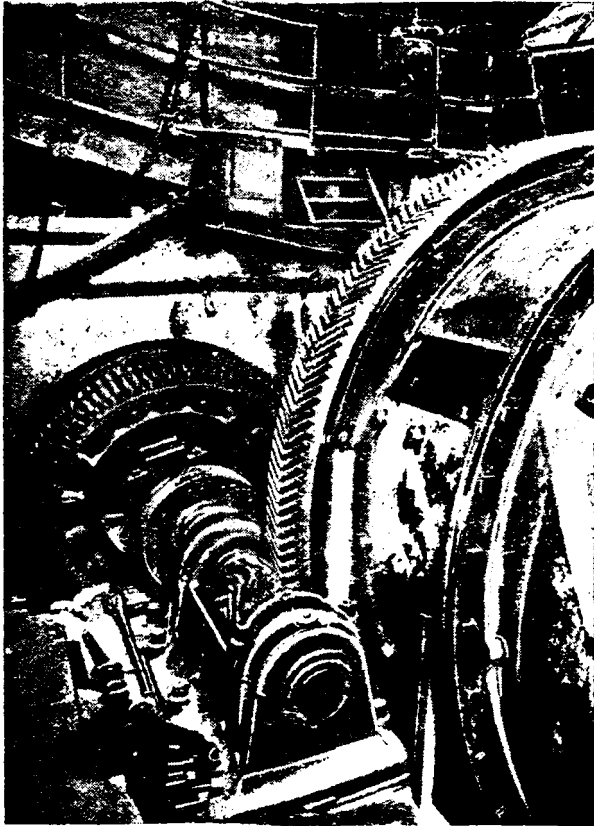


Рис. 8. Электропривод шаровой мельницы помощью синхронного двигателя 400 л. с., 600 об/мин и редукторной передачи на 30 об/мин

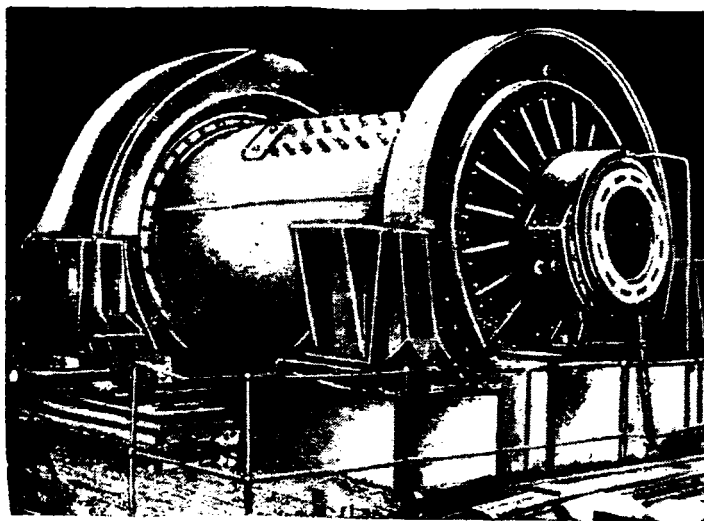


Рис. 9. Безредукторный электропривод системы инж. П. А. Фридкина для шаровой углеразмольной мельницы 400 kW, 3000 V, 28 об/мин

В СССР работы по созданию нового типа низкоскоростного электропривода развернулись в принципиально ином направлении и привели к созданию безредукторного электропривода по предложению инж. П. А. Фридкина [9]. За время с 1929 по 1936 г. были рассчитаны, осуществлены и испытаны пять конструкций таких безредукторных электроприводов в виде сегментных электрических статоров для хлопковых кардмашин, одна конструкция — для хлопкового очесывающего валика. Сегментные статоры для кардмашин серийного промышленного выпуска находятся в настоящее время в регулярной эксплуатации на Заводе «Электросила» недавно построенный сегментный статор для шаровой углеразмольной мельницы мощностью в 400 kW при 3000 на 28 об/мин (рис. 9).

Идея максимального упрощения конструкции электропривода путем непосредственного воздействия электромагнитных усилий на рабочую часть механизма и устранения передач, подверженных износу, представляет большой интерес.

«Вращение рабочих машин посредством двух статоров, т. е. электродвигательных аппаратов, — пишет инж. П. А. Фридкин [10], — без движущихся частей, без гнезд трения и износа открывает технике электропривода новые пути прогресса на многие годы.

Устраняя главное — зубчатые или другие передачи, — электродвигательные аппараты освобождают много металла, станков, инструмента, приспособлений и физического труда, идущие на изготовление, наладку и обслуживание этих передач. При этом уменьшаются размеры машин, сокращаются аварии и простои в их работе, а безопасность и безвибрационность электродвигательных аппаратов делают условия труда в цехах более уютными, менее напряженными, а вследствие этого более производительными и культурными.

Преимущества электродвигательных аппаратов приобретают особенно важное значение для категорий рабочих машин, где неизбежны в настоящее время сложные и громоздкие в исполнении, наладке и в эксплуатации редукторные передачи (углеразмольные, рудодробительные, цементные мельницы, вращающиеся обжигательные печи, камнедробильные машины, прессы и т. д.).

В целях успешного применения сегментных статоров для безредукторного привода рабочих машин требуется дальнейшая упорная работа над повышением  $\cos \varphi$  и  $\cos \psi$  этих установок (в настоящее время недостаточный  $\cos \varphi$  сегментных статоров необходимо исправлять при помощи дополнительных компенсирующих средств, например, статических конденсаторов). Продолженные испытания безредукторного привода углеразмольных мельниц непосредственно в условиях эксплуатации на Сталинской ТЭЦ в Миллерово намеченные на ближайшее время, позволяют ему исчерпывающую технико-экономическую оценку.

Высокоскоростные электроприводы. В эту категорию входят все приводы с числом оборотов рабочего вала выше 3000. Роль и распространение высокоскоростных приводов все более растут в соответствии с общей тенденцией

промышленности к повышению скоростей и производительности рабочих машин. Приводы в текстильной и деревообделочной промышленности, затрифуги и электроинструмент представляют собой области, нуждающиеся в первую очередь в высокооборотных двигателях. Для этой цели, как правило, применяются асинхронные двухполюсные двигатели с к. з. ротором, питаемые током повышенной частоты (75—400 Hz) от специальных преобразователей частоты. Из таблицы 2

Таблица 2

Мощности двухполюсного асинхронного двигателя определенного типа, весом 4 kg, при питании его током высокой частоты

Частота Hz	Об/мин при холостом ходе	Длительная мощность	
		W	л. с.
50	3000	150	0,24
75	4500	200	0,27
100	6000	250	0,34
150	9000	370	0,50
200	12000	470	0,67
300	18000	600	0,82
400	24000	730	1

цию, как возрастает использование одного и того же двигателя при питании его током различных частот. В таблице 3 даны весовые харак-

Таблица 3

Весовые характеристики двухполюсных двигателей повышенной частоты (200 Hz)

Мощность при 110 V и 12 000 об/мин л. с.	Вес (статор и ротор ком- плектно), kg	Вес kg/л. с.
0,33	2	6
1	3,5	3,5
1,5	4,7	3,1
2,5	8,3	3,3
5	12,5	2,5

теристики двигателей на 200 Hz мощностью от 0,3 до 5 л. с. Из обеих таблиц следует, что применение повышенной частоты является мощным средством для снижения веса электрооборудования.

**Специальные схемы управления.** На нескольких примерах можно показать, какими необычными задачами приходится иногда разрешать специалистам электропривода. В одном случае требовалось использовать оба рода тока — переменный и постоянный — для электропривода шпалерного станка: вертикальный фрезерный станок для обработки шаблонов был снабжен двумя двигателями, из которых 1-й — трехфазного тока с к. з. ротором 2,5 л. с., 1430 об/мин для подачи стола, такой же 2-й, но в 2 л. с. — для подъема траверзы, 3-й же двигатель, для при- шпинделя, выбран в 6 л. с. постоянного тока — ком- паундным возбуждением и рассчитан на регулировку скорости от 700 до 2100 об/мин. регулировка сочетается с механической ре-

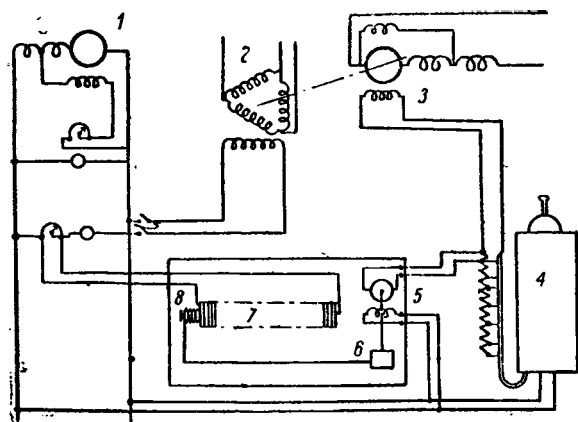


Рис. 10. Схема автоматического регулирования тока возбуждения синхронного двигателя

1 — возбудитель, 2 — синхронный двигатель, 3 — генератор Леонарда, питающий подъемный двигатель, 4 — контроллер для управления скоростью подъемного двигателя, 5 — электродвигатель насоса, 6 — масляный насос, 7 — реостат с угольными шайбами, перемещение которого создается переменным давлением масляного серво-насоса, 8 — эластичная гофрированная трубка

гулировкой благодаря наличию 3-ступенчатой коробки скоростей. Двигатель постоянного тока питается от сети через тиратронные выпрямители (известны случаи применения для этой цели селеновых выпрямителей). Все двигатели имеют кнопочное управление.

При эксплуатации мощного экскаватора, оборудованного по схеме Леонарда с синхронным моторгенератором, обнаружили затруднения вследствие больших колебаний напряжения на зажимах синхронной машины и в сети при толчках нагрузки. Это явление имело также место и в моменты рекуперации энергии в сеть трехфазного тока. Для устранения таких колебаний напряжения к установке был добавлен электро- механический регулятор оригинальной конструкции (рис. 10).

Не всегда наиболее эффективное разрешение задач электропривода осуществимо помощью чисто электрических средств и часто для этой цели приходится прибегать к комбинированному применению электропневматических или электрогидравлических средств. В качестве примера последнего решения можно привести так называемый «электрогидравлический регулятор скольжения», которым за последние годы оборудовано около двух десятков агрегатов Ильгнера с маховиком. Как известно, в таких агрегатах применяется в качестве приводного асинхронный двигатель с регулятором скольжения, обеспечивающим необходимое снижение оборотов агрегата в целях использования маховика. Но работа асинхронного двигателя, особенно в период недогрузки, связана с пониженным  $\cos \varphi$ . Синхронный же двигатель до сих пор не мог быть применен в агрегатах Ильгнера вследствие присущего ему «жесткого» синхронного числа оборотов, что не позволяло использовать маховик.

Использование синхронного двигателя в данных условиях стало возможным лишь с появлением электрогидравлического регулятора, который в основе своей представляет собой регулируемый гидравлическую муфту  $U$ ; последняя встраивается между валами синхронного двигателя  $N$  и маховика и действует как показано на

схеме (рис. 11). Агрегаты Ильгнера, снабженные электрогидравлическим регулятором скольжения, применены в установках шахтных подъемных машин, мощность которых достигает 1500 kW.

За последнее время гидравлическая передача все чаще применяется в сочетании с электрическим оборудованием. В электроприводе полировально-шлифовочного станка с возвратно-поступательным движением для цилиндров диаметром до 10" рабочая скорость станка с помощью гидравлической муфты может регулироваться в пределах от 100 до 250 об/мин. В схеме управления предусмотрена электрическая блокировка для электронасоса, обслуживающего гидравлическую передачу. Станок снабжен механическим счетчиком ходов, выключающим двигатель после выполнения заданного числа ходов [11].

Одним из примеров автоматизации полностью электрифицированного механизма является современный электропривод копировально-фрезерных станков. Принцип Келлера, положенный в основу электрификации этих станков и удовлетворяющий, казалось бы, самым высоким требованиям, в настоящее время заменяется более совершенными системами. Так, в Ленинградском индустриальном институте (ЛИИ) инж. Соколовым, аспирантом кафедры электрооборудования, изготовлен копировальный электроавтоматический станок нового типа, в котором применена новая, оригинальная система управления двигателем подачи, воздействующая на цепи возбуждения генераторов при помощи агрегатов Леонарда и тиратронов [12]. Новый станок имеет ряд преимуществ перед американскими станками типа Келлер, так как благодаря применению тиратронов вместо электромагнитных реле удалось добиться большей чувствительности копировальных головок и

меньшего искажения профиля обрабатываемых деталей. Кроме того, значительно упрощена конструкция благодаря отсутствию коробов скоростей для приводов подачи.

Фирма AEG недавно сконструировала копировально-фрезерный станок с автоматическим управлением на электронно-индукционном принципе [13]. Здесь индикатор действует на 3 двигателя подачи посредством электрических мостов, электронных трубок без каких-либо контактов реле. Все двигатели постоянного тока. Главный двигатель имеет регулировку скорости 1:3. Двигатели подачи тормозятся замыканием якоря в коротко; станок допускает и ручное управление и приспособлен для грубой, средней и чистой обработки. Еще более совершенная система автоматизации копировально-фрезерных станков достигается с помощью фотореле. Такой станок сконструированный по предложению советского изобретателя инж. Вихмана в Московском станко-инструментальном институте, показал уже на первых испытаниях хорошие результаты.

Недавно была осуществлена интересная схема электропривода насоса бумажной массы для бумагоделательной машины с применением регулятора частоты. От постоянства скорости прожигательного насоса, подающего бумажную массу на сетку бумагоделательной машины, сильно зависит вес и качество бумаги. Ввиду того, что приводной асинхронный двигатель в 44 kW так как насос питался от сети, где колебания частоты составляли  $\pm 3\%$ , была применена специальная схема стабилизации скорости: между питающим и двигателем был включен преобразователь частоты, приводимый от двигателя постоянного тока по схеме Леонарда. Возбуждение генератора Леонарда регулируется автоматически помощью быстродействующего регулятора частоты, питаемого от тахометрического генератора на валу приводного асинхронного двигателя. Точность действия схемы:  $\pm 0,2\%$  от основного числа об/мин.

Исключительное внимание конструкторской и изобретательской мысли уделяет области синхронизации многомоторного привода.

Предложенная недавно новая схема дает возможность получить синхронное вращение нескольких, не связанных механически, асинхронных двигателей при сохранении постоянного угла относительного сдвига их роторов. В схеме одного из двигателей приводится во вращение электронный преобразователь частоты, к щеткам которого присоединены кольца ротора второго двигателя. Если число двигателей, совместно работающих по данной схеме, больше двух, то в коллекторе преобразователя частоты должны быть помещено соответствующее количество коллекторных щеток. Сдвигом последних устанавливается необходимое изменение относительного угла роторов.

Особое значение для электрификации подъемных машин имеет применение схем автоматической подачи. Только путем применения подачи, скорость которой автоматически регулируется в зависимости от режима работы (или нагрузки) главного двигателя, могут быть достигнуты следующие преимущества: увеличение произ-

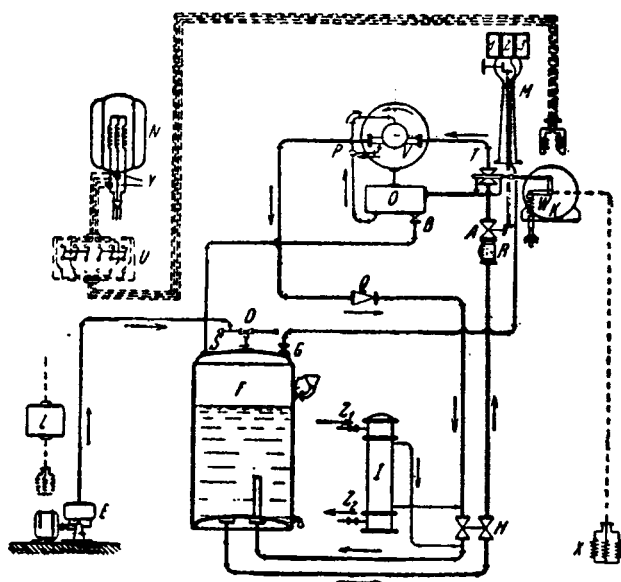


Рис. 11. Схема электрогидравлического регулятора скольжения

A, B, G — клапана, D — трехходовой кран, E — компрессор, P — напорный бак, H — автоматический клапан, I — охладитель, K — балансирный двигатель, L — выключатель компрессора, M — колонка управления, N — синхронный двигатель, O — бак для спуска масла, Q — обратный клапан, R — масляный фильтр, S — разгрузочный клапан, T — регулировочный клапан, U — выключатель для балансирного двигателя, V — гидравлическая муфта, W — регулирующая пружина, X — добавочное сопротивление для ротора двигателя, Y — сервисные трансформаторы, Z<sub>1</sub> — подводящая труба, Z<sub>2</sub> — отводящая труба

ности станка и полное использование его электрической части, уменьшение расхода энергии на единицу продукции, предохранение рабочего инструмента (резца) от поломок, автоматизация работы и т. д. Уже из одного этого перечня видно, какое значение может иметь широкое внедрение автоматической подачи в развитии станочных методов работы.

Можно привести много примеров автоматической регулируемой подачи в современном электроприводе. Большие токарные станки требуют для передачи движения подачи на супорта длинных передаточных валов и зубчаток. Это создает при наличии двух шпиндельных бабок — передней и задней — определенные конструктивные затруднения. Большие преимущества получаются при осуществлении подачи чисто электрическим путем или посредством ее автоматизации. Для этого с валом главного приводного двигателя связывают вспомогательный генератор постоянного тока, питающий двигатели супортов (подачи). Напряжение этого генератора и, следовательно, скорость двигателя подачи изменяются прямо пропорционально скорости главного двигателя [14]. Ранее был изготовлен мощный токарный станок с двумя шпиндельными бабками, полностью электрифицированный; на станке установлено всего 16 электрических машин, общей мощностью в 310 кВт, причем с каждым из двух главных двигателей связан один генератор постоянного тока, питающий 6 двигателей супортов.

Наиболее передовые работы по электроприводу с автоматической подачей были проведены в Советском Союзе. В лаборатории электропривода ВЭИ еще в 1932—1933 гг. была разработана схема врубочной машины для горной промышленности с автоматической подачей на переменном токе, а в 1935 и 1936 гг. были построены первые промышленные образцы таких машин. Для осуществления автоматической подачи в данном случае было применено 2 асинхронных короткозамкнутых двигателя: 18 кВт (главный) и 2 кВт (вспомогательный), связанных дифференциальным механизмом [15].

ХЭТЗ в 1936 г. разработал систему автоматического регулирования подачи инструмента для электропривода бурильных станков в нефтяной промышленности (см. схему рис. 12). Здесь управление двигателем подачи осуществляется по схеме Леонарда. Регулирование величины тока в цепи возбуждения генератора Леонарда осуществляется чрезвычайно просто посредством только одного реле, катушка которого включена в цепь тока главного бурового двигателя, а контакт ключен в цепь возбуждения генератора. Реле регулируется на ту величину тока в цепи бурового двигателя, которую желательно поддерживать постоянной. Если эта величина тока меньше уставки реле, то контакт реле замкнут, и двигатель подачи производит подачу инструмента с максимальной скоростью. Когда нагрузка бурового двигателя превосходит уставку реле, то начинается процесс регулирования, заключающийся в срабатывании замыканиях и размыканиях контактов реле; в результате — устанавливается некоторая средняя скорость подачи.

Опубликованная недавно фирмой AEG схема

Рис. 12. Принципиальная схема автоматического регулятора подачи системы ХЭТЗ

1 — сеть трехфазного тока, 2 — трансформатор тока, 3 — регулировочное реле, 4 — обмотки возбуждения, 5 — агрегат Леонарда, 6 — двигатель подачи, 7 — буровой двигатель, 8 — пусковые сопротивления

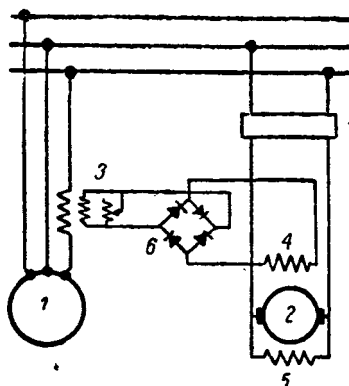
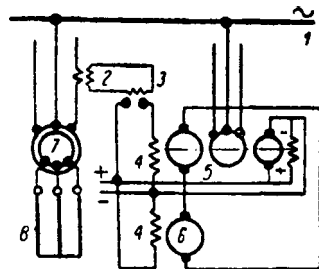


Рис. 13. Схема электропривода пилы для холодной резки с автоматической подачи

1 — главный двигатель, 2 — генератор Леонарда, 3 — двигатель подачи, 4 — противосапунная обмотка возбуждения генератора, 5 — основная обмотка возбуждения генератора, 6 — обмотка возбуждения двигателя, 7 — регуляторный реласт, 8 — купрокный выпрямитель по схеме Грейца, 9 — серийный трансформатор

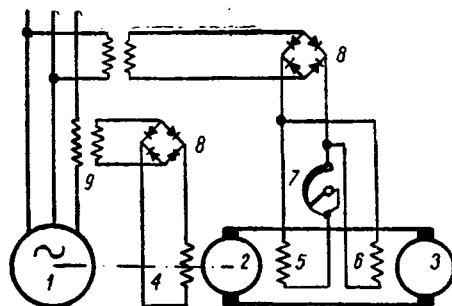


Рис. 14. Принципиальная схема электропривода с автоматической подачей, предложенная ВЭИ для фрезерного станка

1 — главный двигатель, 2 — двигатель подачи, 3 — серийный трансформатор, 4 — компаундирующая обмотка возбуждения, 5 — шунтовая обмотка возбуждения, 6 — купрокный выпрямитель по схеме Грейца, 7 — выпрямитель для питания двигателя подачи, 8 — регулятор

автоматической подачи для электропривода круглой пилы холодной резки [16] (рис. 13) по существу не представляет собой ничего особо нового по сравнению с ранее проведенными работами ВЭИ [17] (рис. 14). В схеме АЕГ двигатель подачи постоянного тока питается от генератора Леонарда с двумя обмотками возбуждения, каждая из которых через купрокный мостик присоединена к сети переменного тока. При этом одна из обмоток доставляет постоянное возбуждение, а другая — переменное, изменяющееся в обратном отношении с нагрузкой главного двигателя.

Электрическая регулировка скорости. Одной из центральных проблем современного электропривода является достижение экономичной, плавной и устойчивой регулировки скорости электроприводов трехфазного тока. Хорошим, однако не универсальным решением этой проблемы служат коллекторные шунтовые двигатели трехфазного тока типа Шраге, которые позволяют регулировать скорость в широких пределах, без установки каких-либо преобразовательных агрегатов. Прогресс в области исследования коммутации, recep-



туры щеток и методики расчета привел к тому, что надежность и качество коллекторных двигателей весьма повысились при одновременном снижении их стоимости; это в свою очередь обусловило все возрастающее их распространение в различных отраслях промышленности.

Для привода бумагоделательной машины, требующей регулировки скорости в отношении 1:14, соответственно скорости бумаги от 8 до 110 м/мин, был применен шунтовой коллекторный двигатель трехфазного тока 45/8 кВт при 1130/207 об/мин. Так как двигатель дает регулировку скорости только в диапазоне 1:5,5, то для расширения последнего к двигателю был пристроен еще механический редуктор с двумя переключаемыми ступенями скоростями в отношении 1:3,9. Поддержание постоянства скорости осуществляется посредством тахо-машинки, действующей на чувствительное реле, которое, в свою очередь, воздействует на сервомотор, перемещающий щеточную траверзу коллекторного двигателя [18].

В типографии газеты «Dernières Nouvelles de Strasbourg» установлена ротационная печатная машина, в которой на каждые два роля применен общий приводной двигатель, шунтовой, коллекторный трехфазного тока, 80 л. с., допускающий регулировку скорости в диапазоне 1:40 и даже 1:60. Практически двигатель работает со скоростью в пределах от 36 до 1150 об/мин при постоянном моменте. Коэффициент полезного действия при низших оборотах ухудшается весьма незначительно. Благодаря применению особой схемы обеспечена стабильная скорость двигателя при низких оборотах. В описанной установке отпадает необходимость в специальном двигателе для запуска при пониженной скорости, что сопряжено с осложнениями [19].

Для регулировки скорости электродвигателей переменного тока малой мощности (до 1 л. с.), приводящих вентиляторы, в США были сконструированы автотрансформаторы, допускающие плавную регулировку напряжения, подводимого к зажимам двигателя. Щеточный контакт передвигается вдоль витков автотрансформатора, с которых снята изоляция в месте контакта, и тем самым обеспечивается плавная регулировка напряжения [20].

Современная практика электропривода знает целый ряд искусственных способов плавной и экономичной регулировки скорости на трехфазном токе и притом — в широком диапазоне. Большинство этих способов требует применения вспомогательных агрегатов, включаемых по специальной схеме. Так например, фирма Crocker-Wheeler (США) выпускает двигатели переменного тока, допускающие регулировку скорости от нуля до 150% синхронной скорости практически без потерь энергии; при этом скорость почти не зависит от нагрузки, как в системе Леонарда. Двигатель состоит из нормального статора асинхронного двигателя и ротора, несущего обмотку постоянного тока и снабженного коллектором с тремя щетками на пару полюсов. Из сети с помощью двукратного потенциал-регулятора на щетки подается регулируемое напряжение, которое, складываясь с наведенным в роторе напряже-

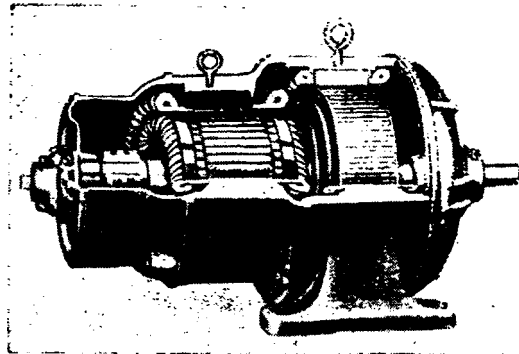


Рис. 15. Вид тандем-двигателя в разрезе

нием, определяет ту или иную скорость вращения [21].

Фирма MV разрешает трудную проблему регулировки скорости электропривода лифтов, подъемников и кранов на трехфазном токе путем применения, так называемого, «тандем-двигателя». Как видно из названия, такая конструкция представляет собой двоянный двигатель, состоящий из тихоходного двигателя с короткозамкнутым ротором и быстроходного с контактными кольцами. Статоры обоих двигателей помещены в общем корпусе, а роторы смонтированы на одном валу, имеющем всего 2 подшипника (рис. 15). Тихоходный двигатель выполняется с 36 полюсами, а быстроходный — с 6, так что путем переключения с одной половины тандем-двигателя на другую можно достигнуть регулировки скорости в отношении 1:6 (см. характеристики на рис. 16). Преимущество тандем-двигателя состоит в меньших пусковых токах, чем у соответствующего двигателя с переключением полюсов. Кроме того, благодаря лучшему распределению потерь выделяемого тепла, тандем-двигатель допускает большую частоту операций. На рис. 17 показана установка тандем-двигателя для электропривода лифта.

Новый тип привода с асинхронным двигателем, имеющий пологие регулировочные характерис-

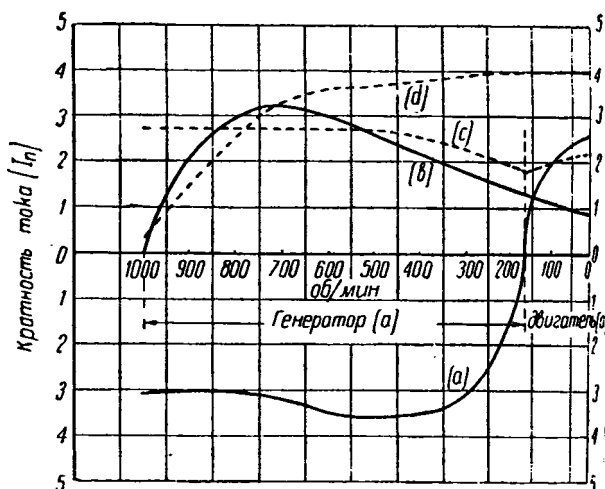


Рис. 16. Характеристики обеих обмоток тандем-двигателя

а — момент короткозамкнутого двигателя,  
б — момент двигателя с контактными кольцами при выключенном роторе,  
с — ток короткозамкнутого двигателя,  
д — ток двигателя с контактными кольцами при выключенном роторе



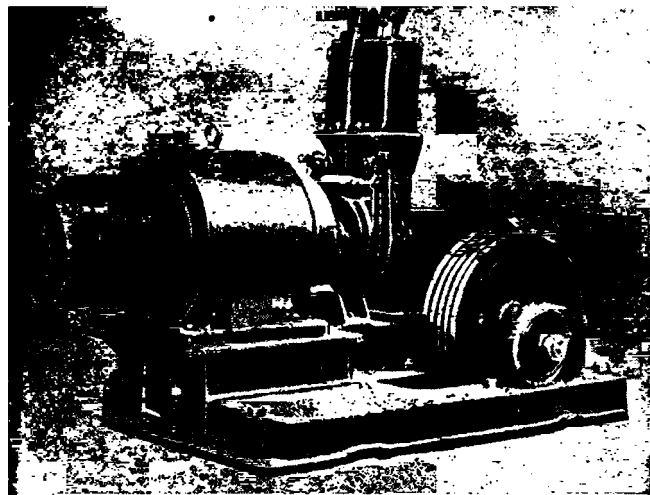


Рис. 17. Применение тандем - двигателя для электропривода лифта

ки скорости, предназначен для кранов и тому подобных подъемных механизмов и состоит из соединенных на общем валу нормального асинхронного двигателя (главного) и однофазного коллекторного двигателя (вспомогательного), мощность которого составляет около 30% от мощности главного двигателя. Благодаря сложению моментных характеристик обоих двигателей, получаются необходимые скоростные характеристики всего привода в целом, причем коллекторный двигатель типа Дери может работать в генераторном режиме в качестве тормоза, отдавая энергию торможения на сеть [22].

**Применение электронных и ионных приборов для управления электроприводом.** Пожалуй, самым замечательным направлением в развитии электропривода за последние годы нужно считать применение вакуумной техники для управления работой электроприводов, т. е. для безреостатного пуска в ход, реверсирования, торможения и регулирования скоростей двигателей. Работы ведутся по трем путям: управляемые при помощи сетки ртутные выпрямители в сочетании с двигателями постоянного тока взамен схемы Леонарда с вращающимися агрегатами; тиристоры с двигателями постоянного тока; тиристоры или управляемые ртутные выпрямители, питающие синхронные или асинхронные двигатели, — это основное достоинство всех этих систем — возможность непосредственного управления двигателями при питании их из сети переменного тока.

Наибольшие успехи уже достигнуты в области управляемых ртутных выпрямителей с двигателями постоянного тока. Такая система обладает следующими преимуществами: значительная экономия активных материалов, так как отпадает дорогой агрегат Леонарда; ртутные выпрямители и трансформатор не требуют специальных фундаментов и крана для монтажа, что позволяет сократить строительные расходы; по своему к. п. д. схемы с ртутным выпрямителем превосходят схемы Леонарда, а по коэффициенту мощности не уступают схемам Леонарда с асинхронным двигателем; схемы с управляемым ртутным выпрямителем

дают возможность получить новые характеристики привода (в частности, легко осуществляется форсировка рабочего двигателя) и открывают широкие возможности для автоматизации привода.

Все эти преимущества способствовали возникновению в последние годы, главным образом в Европе, нескольких десятков установок с ртутными выпрямителями в регулируемых электроприводах шахтных подъемных машин, прокатных станков, шахтных вентиляторов, сушилок на брикетных фабриках и т. д. Уже оборудованы такие установки для непрерывных станков и трубопрокатных станков, в которых самые сложные задачи регулировки и управления были просто разрешены с помощью сеточного управления. На одном из рудников Вестфалии агрегат Леонарда, питавший привод подъемной машины, был демонтирован и заменен соответствующим ртутным выпрямителем с сеточным управлением. Эта установка показала свою полную надежность, удобство управления и на 6% более высокий к. п. д., чем при преобразователе Леонарда [23].

Первоначальные капиталовложения в установки с ртутными выпрямителями, особенно при реверсивных приводах, на сегодня оказываются еще достаточно высокими. Поэтому необходимо стремиться к удешевлению комплексных установок с управляемыми ртутными выпрямителями за счет технических упрощений в них, что в первую очередь может быть достигнуто путем научно-исследовательских работ. Во всяком случае можно считать, что наиболее подходящей здесь областью применения являются шахтные подъемные машины по системе Кепе, в которых приходится устанавливать мотор-генераторы Ильгнера-Леонарда в надшахтном здании на значительной высоте. При высоких числах оборотов современных агрегатов Ильгнера-Леонарда и происходящих от этого вибрациях в дополнительных динамических напряжениях в частях опорных конструкций, установки с статическими агрегатами в виде ртутных выпрямителей получают несомненное преимущество.

В СССР большие исследовательские работы по применению управляемых выпрямителей взамен схемы Леонарда проводятся в ВЭИ [24], ЛИИ и на ХЭТЗ. В настоящее время изготавливается оборудование для первых опытных установок такого рода с электроприводами прокатного стана и шахтной подъемной машины.

Большое значение могут иметь управляемые ртутные выпрямители в агрегатах, требующих многомоторного привода, в частности, в схемах согласованного или синхронизированного вращения нескольких электродвигателей. Такие схемы применяются в многомоторном приводе бумагоделательных машин, непрерывных прокатных станков, ротационных печатных машин и т. п. агрегатов. Разработанная в лаборатории электропривода ВЭИ подобная схема [25] подверглась в 1937 г. дальнейшему усовершенствованию на ХЭТЗ и в настоящее время практически осуществляется на многомоторном приводе одной из бумагоделательных машин Балахнинского комбината. Насколько известно, такая установка будет первой в мире.

Применение тиратронных схем для управления двигателями постоянного тока носит еще экспериментальный характер. Увеличение числа и мощности таких установок пока ограничивается величинами токов, на которые строятся в настоящее время тиратроны, и продолжительностью их службы (хотя последние в отдельных случаях, достигает 20000 h). На стороне тиратронных схем лежат большие преимущества: при помощи этих схем можно регулировать и поддерживать постоянную скорость двигателя или относительную скорость между двумя системами; упрощается и удешевляется аппаратура управления [26].

Работы по вентильным или тиратронным двигателям еще не вышли из стадии экспериментов, имеющим однако довольно широкий масштаб. Так, на электрической станции в Логане (США) в качестве привода для вентилятора на дымососе установлен трехфазный двигатель на 400 л. с., 2300 V, 60 Hz с тиратронным управлением скорости в диапазоне от 625 до 350 об/мин. В схеме управления имеется 18 тиратронов с номинальным током в 12,5 А и максимальным в 75 А. Статор двигателя состоит из двух независимых обмоток, соединенных каждая в звезду, и, следовательно, в каждой фазе обмотки имеется по три трубки. Для улучшения изоляции ротора от перенапряжений трехфазная его обмотка была заменена однофазной. Наибольшее число аварий с трубками происходит во время их пуска или при начальном подогреве катода. Надежность эксплуатации требует улучшения надежности лишь тиратронов [27]. Большая исследовательская работа по вентильным двигателям ведется в СССР [28] и в других странах.

Народное хозяйство СССР, используя весь опыт и достижения современной электротехники, ставит обширные и сложные задачи в области дальнейшего развития электропривода. Для разрешения этих задач нужна серьезная исследовательская работа, соответствующая мощному росту электромашиностроения в третьей сталинской пятилетке.

#### Литература

„Электричество“ № 11, 1935, и № 15—16, 1936, статьи Л. Б. Гейлера.

2. „Helios“ № 8, 1937, стр. 194—196, Arbeitsmaschinen und Aussenmotor.

3. „Электричество“ № 15—16, 1936, стр. 36.

4. „Helios“, № 18, 1938, стр. 606—608.

5. „El Times“ 16 июня, 1938, стр. 892.

6. „Siemens-Zeitschrift“ № 3/4, 1938, стр. 148—149.

7. Р. А. Лютер, А. И. Ильин и Т. Г. Амбарцумов. Электр. машиностроение на заводе „Электросила“ в третьей пятилетке, „Электричество“ № 11, 1938.

8. Lory. High-torque synchronous motors „El. Journal“ 1937, № 5, стр. 187 и брошюра „Synchronous Motors“, фирмы GFC.

9. П. А. Фридкин. Дуговые статоры, как электрические аппараты для вращения рабочих машин, „Электричество“ № 7 и 8, 1937.

10. П. А. Фридкин. Дуговые статоры. Изд. Всесоюзной постоянной выставки изобретательства и рационализации 1937.

11. „Product Engineering“ № 3, 1938, стр. 39.

12. Газета „Машиностроение“ № 285 от 15 декабря 1938.

13. AEG-Mitteilungen № 3, 1938, стр. 147—149.

14. „Siemens-Zeitschrift“ № 3/4, 1938, стр. 193.

15. П. Демидов и С. Дунаевский. Новая схема автоматизации скорости подачи для тяжелой врубовой машины, статья в сборнике „Материалы по стандартизации врубовой машины“, изд. 1933, а также Г. Пантюшев. Врубовая машина с электроавтоматическим регулированием скорости подачи, „Электричество“ № 5, 1936.

16. AEG-Mitteilungen № 12, 1938 (декабрь), стр. 569—571.

17. Е. К. Попов и А. Н. Сальников. Автоматическая электрифицированная подача на фрезерных станках, „Бюллетень ВЭИ“ № 2, 1935, а также Е. К. Попов и А. Н. Сальников. Электрификация станков с автоматическим регулированием скорости подачи „Вестник электропромышленности“ № 8, 1935.

18. „Brown Boveri Mitteilungen“ № 9, 1938, стр. 199.

19. „Electricité“ февраль 1937, стр. 84—85.

20. „General Electric Review“ № 1, 1938.

21. „Factory Management“ № 3, 1938, стр. 93—94.

22. „B.V.-Nachrichten“ № 1, 1938, стр. 15—18.

23. Bohnhoff. Elektromotorische Antriebe im Bergbau, ETZ 27 мая 1937, стр. 560.

24. Ф. И. Бутаев, Е. Л. Эттингер и Янчук. „Вестник электропромышленности“ № 3 и 12, 1938.

25. Е. К. Попов. „Применение ионных и электронных приборов для синхронизированного привода“, „Электричество“ № 15—16, 1936.

26. Garman. Thyatron control of d. c. motors. „Electrical Engineering“ № 6, 1938, стр. 335—342, а также „General Electric Review“ № 4, 1937, стр. 202—208.

27. Reiler. The thyatron motor at the Logan Plant „Electrical Engineering“ № 1, 1938, стр. 19—24.

28. Ф. И. Бутаев. Вентильный преобразователь, „Электричество“ № 24, 1936.

29. О. Г. Вегнер. Современное состояние проблемы вентиляльных двигателей, „Электричество“ № 6, 1938.

# Электрический отбойный молоток для угольной промышленности

А. И. МОСКВИТИН  
ВЭИ

ОТРАБОТКА электрического отбойного молотка для угледобычи представляет задачу большого народно-хозяйственного значения. Важность этой задачи особенно увеличивается в связи с решением XVIII съезда ВКП(б) по ряду тов. Молотова о завершении в третьей пятилетке механизации добычи угля во всех угольных районах страны.

ОТРАБОТКА электрического отбойного молотка в Союзе являются многие изобретатели и организации. Электрический молоток, как известно, появился почти одновременно с первыми электрическими машинами (мо оток Сименса Бг.), однако в своем развитии он сильно отстал от отработки с роения.

Объясняется это, главным образом, техническими трудностями выполнения электрического молотка, сложностью и большой противоречивостью основных требований, предъявляемых к нему, сильнее в его скрывающейся в отбойном молотке для угледобычи. При высоком своем производстве он должен быть легким, компактным, простым, надежным, удобным в работе, иметь малую отдачу и не сильно нагреваться при работе. Эти требования в значительной степени противоречат друг другу. Труднее всего совместить высокую производительность с малым весом инструмента (рукоятки — не выше 30° и хобота — выше 55° при окружающей температуре 15°). По условиям взрывобезопасности молоток должен быть совершенно герметичным. Требования же надежности и простоты почти исключают возможность осуществления форсированного движения. Безопасность и требование прочности налагают даже на охлаждающие ребра. Остается единственный путь к увеличению мощности — максимальное уменьшение к. п. д. Этим способом можно достичь многого, так как мощность ( $P_2$ ) возрастает гораздо скорей, чем к. п. д. ( $\eta$ ), в особенности при больших значениях к. п. д., видно из формулы:

$$P_2 = \Delta P \frac{\eta}{1 - \eta}$$

где  $\Delta P$  — максимально допустимые по нагреву потери, показывают подсчеты, проведенные по ряду выполненным молоткам, величина  $\Delta P$  не должна превышать 250 W. Наблюдается рост полезной мощности в зависимости от к. п. д. при этом значении  $\Delta P$  (250 W):

$\eta$	0,28	0,32	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
$P_2(W)$	97	108	133	166	203	253	302	372

Необходимо подчеркнуть, что для высокой производительности еще недостаточно иметь большую полезную мощность. Мощность зависит от работы удара  $A$  и числа ударов в минуту  $n$ :

$$P_2 = 9,81 A \frac{n}{60} (W).$$

Как показывают практика и теория этого дела, большую производительность дает молоток с сильными и редкими ударами. При слишком слабых ударах, как бы часты они были, пика совсем не будет вводить в породу. Технические условия допускают частоту ударов в минуту от 700 до 1500.

При достижении в настоящее время к. п. д.  $\eta = 0,4$  полезная мощность  $P_2 = 166 W$ . Следовательно, при обычной частоте ударов в минуту, равной 940, максимальная достижимая работа удара (на рабочем инструменте)

$$A = \frac{166 \cdot 60}{940 \cdot 9,81} = 1,09 \text{ kgm}.$$

Эта сила удара достаточна только для мягких углей. Наше решение задачи, очевидно, будет возможно в результате или повышения к. п. д. до 0,6 (по крайней мере

до 0,50, что даст работу удара 1,7 kgm на пике) или же при усиленном охлаждении молотка, хотя это и противоречит требованию простоты и надежности.

Таковы трудности, стоящие на пути повышения производительности молотка.

Два пути развития электрических молотков. Было предложено весьма много типов электрических молотков. Все их можно разделить на две группы, представляющие принципиально различные решения задачи.

Первая группа — молотки электромеханические, т. е. молотки с нормальной вращающейся машиной и той или иной механической передачей для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное. К ним же относятся электропневматические молотки, в которых одним звеном передачи является воздух.

Вторая группа — молотки, которые для краткости мы условно называем соленоидными. Это молотки, в которых прямолинейное возвратно-поступательное движение бойка достигается непосредственно электрической машиной прямолинейного движения.

Основное преимущество электромеханических молотков связано с тем, что применяемые в них вращающиеся машины достигли высокой степени совершенства, в особенности в отношении рабочих характеристик —  $\cos \phi$  и к. п. д., хорошо изучены и, главное, вращающиеся без отказа. Поэтому любой электромеханический молоток, если только идея его правильна, будет работать с теми или иными показателями. К преимуществам их также следует отнести возможность получения любого числа ударов вне зависимости от частоты питающего тока. Основные недостатки этих молотков — сложность, большой мертвый вес механической передачи и бойка, относительно малый к. п. д. на рабочем инструменте (несмотря на высокий к. п. д. двигателя), что обусловлено большими потерями в передаче, и дороговизна.

Основное преимущество соленоидных молотков: простота конструкции, отсутствие мертвого веса передачи и потеря в ней, вследствие чего, несмотря на относительно невысокий к. п. д. машины прямолинейного движения, общий к. п. д. молотка получается высоким; дешевизна и в некоторых конструкциях большая и легкость. Основной недостаток большинства конструкций соленоидных молотков — слишком высокая частота ударов при питании от 50-периодной сети ( $6000 \div 3000$  ударов в минуту); только в последнее время начинают появляться конструкции с частотой ударов 1500 и ниже при 50 Hz. Вторым недостатком в большинстве конструкций является низкий  $\cos \phi$  лишь недавно появились отдельные конструкции с повышенным  $\cos \phi$ . Тем не менее сейчас имеется достаточное количество типов соленоидных молотков, удовлетворительно работающих (не в угольной промышленности) с высокими рабочими характеристиками.

В построении отбойных молотков для угледобычи техника в настоящее время пошла главным образом по пути электромеханических молотков. Следует заметить, что это только путь наименьшего сопротивления: сделать электромеханический молоток гораздо проще и скорей, чем удовлетворительно работающий соленоидный. В значительной степени это объясняется и профилем конструкторов этого молотка: в подавляющем большинстве — это механики, а не электрики. Хороший соленоидный молоток, не уступающий электромеханическому в отношении низкой частоты ударов, простоты схем включения, надежности и вы. около  $\cos \phi$ , безусловно должен завоевать первое место ввиду его больших преимуществ — простоты и дешевизны. Поэтому разработка соленоидного молотка следует всемерно развивать.

Электромеханические молотки. Кривошипно-шатунная передача. Для электромеханических молотков предлагались самые разнообразные типы передач: кривошипно-шатунная, рычажная, кулачковая, ременная, центробежная, с неотбалансированными массами и т. п. В Союзе в настоящее время чаще всего применяется кривошипно-шатунная передача, за границей большее распространение имеет винтовая передача. С кривошипно-шатунной передачей выполнены молоток Сименса Е-900, Шмаргунова, получивший

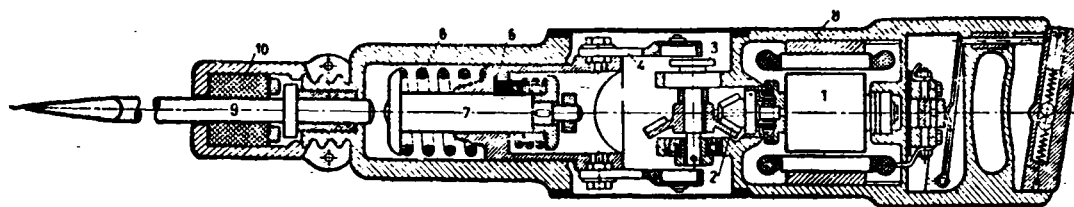
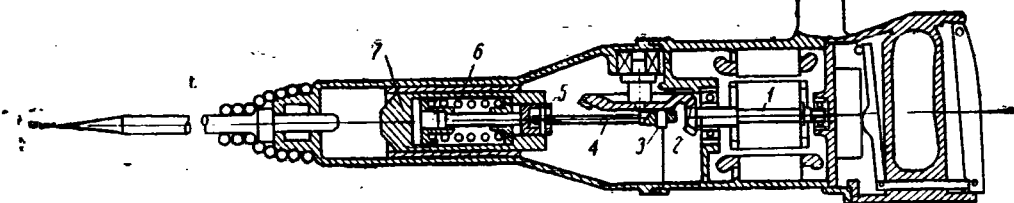


Рис. 1

Рис. 2. Молоток Шмаргунова (схематический разрез)

1 — трехфазный асинхронный мотор,  $n = 3000$  об/мин, 350 W; 2 — редуктор 1:3; 3 и 4 — кривошип и шатун; 5 — салазки; 6 — пружина, соединяющая боек с салазками; 7 — боек



практическое применение, и молотки МЭИ, Гиндветмета, Горьашпроекта и др., доведенные до стадии опытного образца.

Типичным представителем этой группы является молоток Сименса Е-900 (рис. 1), на который в 1931—1932 гг. за границей возлагались большие надежды. Как видно (рис. 1), он состоит из следующих основных элементов: 1 — мотор (3-фазный асинхронный,  $n = 3000$  об/мин, 350 W); 2 — понижающая пара редукторных зубчаток (1:2); 3 — 4 — кривошип и шатун; 5 — салазки; 7 — боек; 6 — пружины, соединяющие боек с салазками. Таким образом, кроме собственно кривошипно-шатунного механизма, такой молоток должен содержать редуктор, чтобы при быстроходном легком motore получить редкие удары с большой живой силой удара. Второе усложняющее звено — связь салазок с бойком. Дело в том, что непосредственное соединение — жесткая связь — невозможно: удары передавались бы на механизм и быстро сломали бы его, кроме того, скорость бойка в момент удара была бы очень низкой. Чаще всего эта связь бойка с салазками выполняется при помощи упругого звена — пружины или воздушной подушки; в некоторых конструкциях на время удара отсоединяют боек от салазок при помощи особых сцепляющих устройств. В молотке Сименса пружины смягчают удары на механизм, увеличивают ход бойка по сравнению с ходом салазок и, наконец, так изменяют характер хода бойка по сравнению с ходом салазок, что скорость его в момент удара максимальна, а не минимальна, как при отсутствии пружины.

Указывалось, что молоток основан на „Шиферштейнновском принципе“, т. е. пружины настроены в резонанс с числом колебаний салазок. Однако в действительности при той степени отдачи энергии (затухания), которая имеет здесь место, конечно, кривая резонанса должна быть очень пологой, поэтому даже сильные колебания частоты и напряжения не должны сказываться на работе молотка. Не может быть и речи о каких-либо „биениях“ и тому подобных резонансных явлениях, которые делали бы этот механизм весьма капризным и ненадежным. Этих биений и не было обнаружено при испытаниях. Надежды, возлагавшиеся на Е-900, не оправдались, и тип этот в настоящее время оставлен. Основные его недостатки: слишком малая работа удара (по опытам автора около 0,6 kgm) при излишне высокой частоте удара (1400 в минуту, большой вес (15,6 kg) и сильный нагрев.

В СССР идея этого молотка была оригинально модифицирована инж. Шмаргуновым (рис. 2). Весьма существенное отличие этого молотка, решившее вопрос о его практической применимости, — это другое передаточное число зубчаток — 1:3 вместо 1:2. Это позволило повысить живую силу удара с 0,6 до 0,9 kg и вместе с тем его производительность. Другое отличие — иное конструктивное выполнение пружинной связи бойка с салазками: вместо двух пружин применена одна, сжимаемая попеременно то одним, то другим концом (дном) бойка, что, конечно, конструктивно проще. Наконец, благодаря уменьшению веса салазок, спрятанных внутрь бойка, и более широкому применению легких сплавов удалось снизить вес с 16,6 до 12,7 kg без пики, а конструктив-

ные усовершенствования (уменьшение трения салазок, устранение масляной подушки и т. п.) привели к существенной потере и нагрева молотка до допустимых пределов.

Молоток при испытаниях в шахте по мягким уголькам дал производительность, почти одинаковую с пневматическим молотком ОМ-5, имеющим паспортную<sup>1</sup> работу удара 3 kgm, и он принят в серийное производство.

Широкое распространение этого молотка задерживается тем, что работа удара его недостаточна для пыления углей. По сложности и дороговизне он не сильно отличается от Е-900. Таким образом полного решения задачи этот молоток, к сожалению, не дал.

В числе молотков с кривошипно-шатунной передачей следует отметить также оригинальное решение, предложенное т. Батуевым. Боек по достижении максимальной скорости отсоединяется от салазок при помощи особого устройства — инерционной муфты сцепления. Пружина пружины не требуется. Кроме того, благодаря особому вспомогательному механизму боек сцепляется с салазками не при каждом ходе шатуна, а с пропуском любого числа ходов в зависимости от передаточного числа механизма управления, причем в промежутках между ударами энергия мотора запасается в маховичке. Поэтому отпадает потребность в редукторе.

Относительно практического значения этого молотка необходимо отметить, что отсутствие пружины не является решающим преимуществом: производство пружин в настоящее время в Союзе освоено, и по данным инж. Шмаргунова изготавливаемые у нас пружины при стоимости 11 руб. могут служить свыше 400 ч. В то же время пружина дает конструктивно более простое решение. Надежности вряд ли муфте сцепления можно отдать предпочтение перед пружинной при том числе сцепления, которое требуется для длительной работы (порядка  $3 \cdot 10^6$  в день).

Энергетически молоток также не дает преимуществ по сравнению с рассмотренными системами. Вместо потерь в зубчатках появляются потери в механизме управления, дополнительные потери в моторе вследствие неравномерного хода и увеличенные потери в направляющих вследствие прерывистости движения. Кроме того, боек не может использовать реакции удара. Благодаря всему этому п. д. молотка, а следовательно, и живая сила удара при одинаковом нагреве не может быть выше, чем у рассмотренных (порядка 1 kgm). В отношении веса эта конструкция также невыгодна: вместо зубчаток и пружины появляется маховик (вес порядка 1,5—2 kg), муфта сцепления и механизм управления. Инерционные усилия в механизме, а также максимальные и средние усилия, которые здесь должны быть выше, чем в молотках с редукторами. Наконец, следует отметить конструктивный недостаток, вытекающий из принципа устройства, — расположение оси мотора перпендикулярно оси молотка,

<sup>1</sup> Практически вследствие потерь напора в трубе вода она гораздо меньше.

же чем общая форма молотка получается менее удобной для работы. В целом молоток не представляет особых преимуществ по сравнению с рассмотренными выше. **Винтовая передача.** Электромеханических молотков с винтовой передачей было предложено много. При правильном использовании винтовая передача в отличие от кривошипно-шатунной позволяет одновременно решить две задачи: преобразовать вращательное движение в возвратно-поступательное и снизить частоту удара молотка.

Обратный ход осуществляется большей частью при помощи расцепляющего механизма или же в некоторых конструкциях изменением направления взаимного движения винта и гайки. Для повышения к. п. д. обычно применяется трение скольжения по винту заменять трением качения при помощи шариков, роликов и т. п.

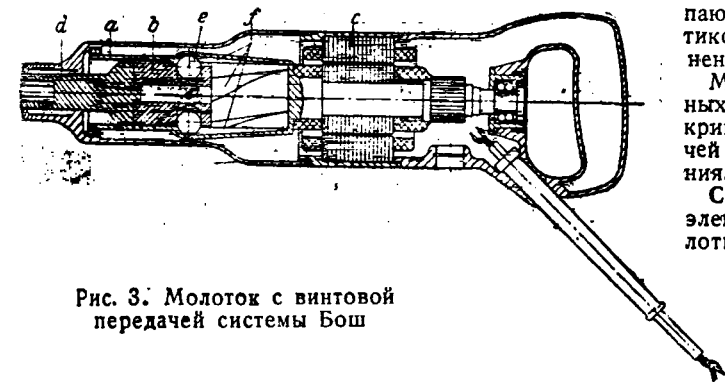


Рис. 3. Молоток с винтовой передачей системы Бош

Из молотков этой конструкции практическое применение (не в угольной промышленности) получил только молоток фирмы Бош. Принцип устройства этого весьма оригинального молотка дан на рис. 3. На рисунке: *С* — строкходный универсальный коллекторный мотор (600 W, 60 об/мин); *а* — гильза, непосредственно сидящая на му двигателя; *б* — боек; *д* — держатель инструмента. На внутренней поверхности гильзы *а* нарезаны винтовые канавки *г* с большим шагом. Под действием центробежной силы шарики *л*, сидящие в гнездах бойка, входят в винтовые канавки гильзы и сцепляются с ней боек. Канавки выполнены таким образом, что глубина их постепенно уменьшается по направлению к мотору, и в месте, соответствующем верхнему положению бойка, они сходят к нулю. Боек выполнен в виде стального закаленного и шлифованного цилиндрика (вес 0,7 kg), скользящего внутри гильзы. На ударном торце бойка и держателя сделан скос. Боек под действием удара о скос держателя, а также из-за уменьшения скорости вращения, отбрасывается кверху, а затем вследствие изменившегося соотношения скоростей вращения бойка и гильзы, а также под влиянием центробежной силы шариков (стремящихся сторону большей глубины канавок) отбрасывается книзу и наносит удар.

Преимущества молотка: отсутствие пружин, принципиальная простота передачи, и в особенности самовращение рабочего инструмента, что ценно при пробивке дыр. Недостатки: сложность изготовления и невысокий к. п. д. из-за косоугольного удара, поэтому такие молотки не допускают в совершенно закрытом выполнении. Применяется этот молоток, главным образом, в монтажно-строительном деле.

**Пружинная кулачковая передача,** при которой ход по рычагу служит лишь для зарядки пружины, не представляет особых преимуществ по сравнению с рассмотренными выше. Кулачковые беспружинные с жесткой связью бойком непрактичны вследствие частых поломок механизма из-за передачи на него ударов.

**Центробежные молотки** (типа Николаева или марка В. — Англия, с молоточком, шарнирно укрепленным на нем) не годятся для угледобычи ввиду больших габаритов, сильного износа и относительно низкого к. п. д., обусловленного косым ударом. Молотки, использующие принцип центробежного пулемета (с шаровым бойком по предложению Старикова), практически непригодны, так как нельзя направить боек в затылок зубка: из-за большого момента вылета шара он гораздо чаще ударяет внутреннюю поверхность кожуха, чем о зубок. При длительном образце сломается через несколько минут.

**Молотки с гибким валом** (электродвигатель устанавливается отдельно от молотка на земле) не имеют преимуществ по сравнению с молотками со встроенным мотором. Уменьшение веса вследствие большого веса вала получается незначительным. Молотки дороги, стесняют свободу действия и, наконец, небезопасны: при заедании механизма начинает вращаться весь молоток, вырываясь из руки и ударяя рабочего; при этом опасность представляется и сам вал, закручивающийся петлей.

**Электропневматические молотки** не имеют преимуществ по сравнению с электромеханическими с пружинной связью бойка и салазок: пружина стоит недорого, работает надежно и долго (при малой частоте ударов); воздушная подушка имеет гораздо более низкий к. п. д., чем пружина, вследствие чего общий к. п. д. молотка будет ниже и работу удара он сможет развить меньшую; особую сложность представляет очистка воздуха, поступающего из запыленного забоя; весь молоток с пневматикой получается сложней, требует более точного выполнения и более тщательного ухода.

Молотки, основанные на принципе неотбалансированных масс, также не представляют выгод по сравнению с кривошипно-шатунными. Конструкция с ременной передачей ввиду износа зубьев не имеет практического значения.

**Соленоидные молотки.** Принципиально иначе, чем в электромеханических, решается задача в соленоидных молотках, в которых прямолинейное движение бойка достигается при помощи электрических машин непосредственно без всякой передачи линейного движения. Систем этих молотков предлагалось и предлагается множество, однако практическое применение получили лишь очень немногие, а в угольной промышленности они применялись еще реже, чем электро-механические.

Как показал автор, все многочисленные типы этих молотков можно разбить на те же основные группы, что и нормальные вращающиеся машины, т. е. на молотки с переключателями («коллекторные»), синхронные и асинхронные.

**Молотки с переключателем.** До сего времени предлагаются молотки с переключателем, управляемым от бойка, несмотря на неоднократные указания в литературе на нежизненность этой идеи. Основные недостатки этих молотков: 1) ненадежность — искрение и обгорание контактов переключателя вследствие большой индуктивности обмоток и большой частоты переключений (700—1500 в минуту); 2) высокий нагрев и 3) малый к. п. д., что связано с большими потерями в дуге. Некоторое практическое значение, возможно, будут иметь лишь более мощные молотки, в которых переключатель заменен ртутным выпрямителем с управляемой сеткой<sup>2</sup>.

Из систем с отдельно установленными переключателями некоторое историческое значение имеют лишь молотки с синхронными переключателями и вибрационного или вращающегося типа. В них обгорание контактов переключателя уменьшено, так как разрыв цепи происходит примерно при прохождении тока через нуль. Таковы: 1) молоток Тома с вибрационным выключателем — катушка включается на полпериода, а в течение другого полупериода боек силой пружины отбрасывается обратно; 2) молоток Schüller с вращающимся выключателем, сидящим на валу 6-полюсного синхронного мотора, — катушка включается на период, а два периода остаются без тока; 3) молоток Marvin — две катушки и вращающийся переключатель, пропускающий ток то в одну, то в другую катушку; молоток работал от сети низкой частоты и применялся в качестве перфоратора.

Однако и синхронные переключатели обгорали и работали ненадежно, так как фаза тока сильно меняется в зависимости от нагрузки. Кроме того, вследствие индуктивности, при включении катушки в момент нулевого напряжения ток не может упасть до нуля через полпериода. Все эти молотки теперь вытеснены молотками с выпрямителями.

Из синхронных молотков с выпрямителями до настоящего времени наибольшее значение имеют молотки «Синтрон». Принципиальная конструкция этого молотка представлена на рис. 4. Ток идет полпериода в одну катушку,

<sup>2</sup> Например, сотрясательно-формовочная машина, предложенная инж. Л. И. Москвитиным.

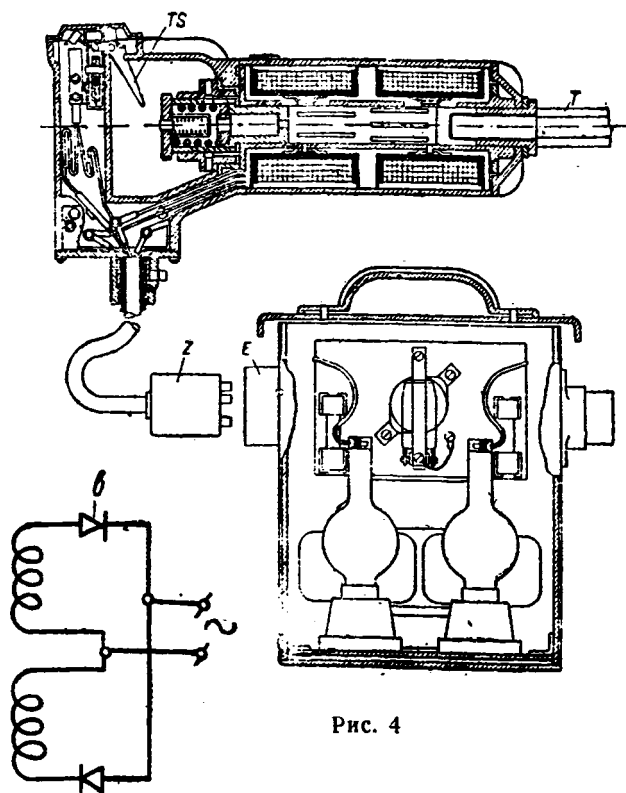


Рис. 4

полупериода — в другую, и при 50 Hz он дает 3000 ударов в минуту. Применяется молоток главным образом в монтажном деле. При испытаниях в ВЭИ такой молоток легкого типа при весе 5,6 kg развивал мощность на рабочем инструменте около 45 W, что составляло работу удара 0,09 kgm; к. п. д. одного молотка без выпрямителя был довольно высок — 32%; к. п. д. всей установки — 18%;  $\cos \varphi = 0,6$ . Тяжелые молотки этого типа работают от частоты 25 Hz, что является уже недостатком.

Применив по принципу автора соленоид с колебаниями

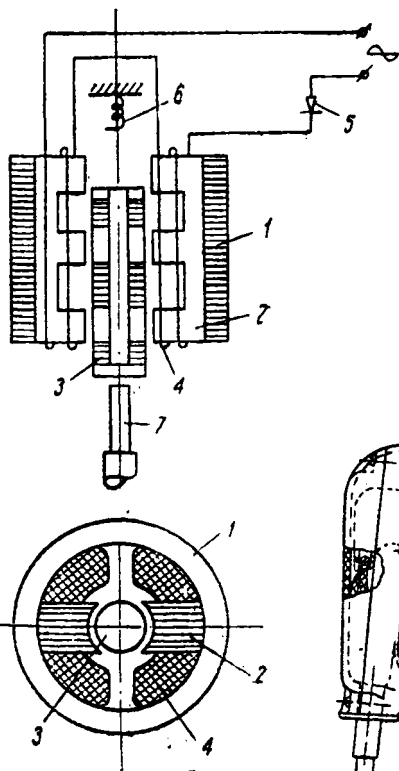


Рис. 5 Принцип устройства и схема включения молотка с выпрямителем системы А. И. Москвитина

якоря в обе стороны из положения магнитного равновесия, можно с выпрямителями при 50 Hz получить 1500 ударов в минуту вместо 3000. Такой молоток представлен на рис. 5. На рисунке: 4 — катушка соленоида, расположенная на двух полюсах магнитопровода 2, выполненного по типу нормальной двухполюсной машины; 3 — боек из расслоенного железа, запрессованного на стальной стержень, 5 — выпрямитель.

Действует молоток следующим образом: в период максимума тока боек втягивается, затем в период минимума вылетает и ударяется о буферную пружину 6, а затем снова в период максимума тока втягивается в противоположном направлении и в период минимума вылетает и ударяется о рабочий инструмент 7, после чего цикл повторяется. Так как при выпрямителе ток достигает максимума один раз за период, то при частоте 50 Hz молоток будет давать 1500 ударов в минуту. Молоток может найти применение для тяжелых работ везде, где выпрямитель слишком мешает, главным образом, при работах в закрытом помещении.

При одновременной работе нескольких молотков, использующих разные полуволны тока, молоток должен иметь высокий  $\cos \varphi$  порядка 0,6 и к. п. д. около 0,6, так как потери в железе малы.

К сожалению, проблема выпрямителя по всем этим показателям еще недостаточно разрешена. Газотрон хотя и представляет выпрямитель, лишенный движущихся частей, все же — стеклянная лампа, которую в шахту вносить нельзя. Купроксные выпрямители наиболее пригодны для применения в шахтах, но пока они еще слишком громоздки. Несколько лучше, легче и дешевле селеновые выпрямители, которые сейчас начали применяться. Достаточно опыта работы с этими выпрямителями у нас пока нет.

**Синхронные молотки.** За границей имеет распространение синхронно-реакционный молоток Бэви, не требующий выпрямителя. Этот тип молотка прост, надежен и дешево имеет низкий  $\cos \varphi$ .

Он применяется, главным образом, там, где не требуется большой живой силы удара, например, при обработке мрамора. Принцип действия этого молотка состоит в том, что в момент максимума тока боек втягивается, соленоид, при минимуме тока пружина выталкивает боек из соленоида и ударяет его о рабочий инструмент. Очевидно, этот молоток имеет частоту ударов, равную 6000 в минуту. Стремясь снизить слишком большую частоту ударов и соответственно повысить живую силу удара, автор предложил принцип «резонансного» молотка — молотка с колебаниями в обе стороны из положения магнитного равновесия, причем частота собственных колебаний бойка в соленоиде совпадает с частотой питающего тока. Такой молоток для строительно-монтажных работ, для обрубки и клепки (к выпуску его приступил Ярославский завод «Красный маяк») представлен на рис. 6.

Катушки 1 расположены на полюсах магнитопровода, имеющего форму нормальной двухполюсной машины. Полюса имеют по высоте ряд выступов, боек же 3 состоит из чередующихся железных и немагнитных пакетов, В

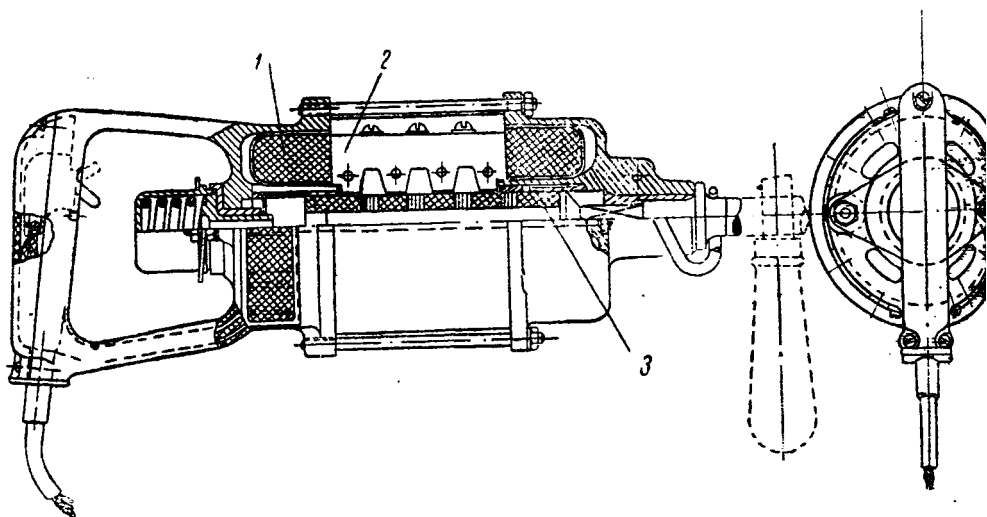


Рис. 6. Резонансный молоток системы А. И. Москвитина



От других конструкций молотков ход бойка имеет величину, что боек может колебаться в обе стороны из среднего положения. Благодаря соответственному размеру массы бойка и величины втягивающего усилия частота колебаний его совпадает с частотой питающего тока, и боек колеблется непрерывно из одного крайнего положения до другого (3000 ударов в минуту). Стремление еще больше снизить частоту ударов привело к видоизменению этого молотка, имеющего 1500 ударов в минуту. Для этого оказалось достаточно добавить еще одну пружину, которую боек несколько сжимает перед ударом. Благодаря этому система приобретает способность работать при половинной частоте ударов по сравнению с частотой тока. Соответственно удалось подвести живую силу удара до 0,9 кгм при весе молотка 12 кг без пика. Коэффициент полезного действия молотка достаточно высок — около 0,4. Недостаток молотка — общий всем реакционно-синхронным конструкциям, — низкий  $\cos \varphi = 0,2$ .

Один из первых электрических молотков — молоток Москвитина (1891 г.) относится к синхронному подмагниченному типу. Он имел две катушки, питаемые переменным током, и третью, среднюю катушку, питаемую постоянным током. Боек, подмагничиваемый постоянным током, втягивался за один полупериод тока в одну катушку, а при противоположном направлении тока — в другую. Одновременное питание постоянным и переменным током препятствовало его успеху.

Появившиеся в настоящее время высококоэрцитивные магнитные сплавы имеют настолько большую магнитную индукцию на единицу веса, что их можно уже применить для переносного электроинструмента. Таким образом можно осуществить подмагничивание, не прибегая к живому постоянному току.

Авторы молотки с постоянными магнитами предложили в нескольких вариантах, из которых здесь приводятся два для 3000 и 1500 ударов в минуту при 50 Hz. Первый вариант схематически представлен на рис. 7. Постоянный магнит N—S расположен близ средней части бойка 2 и намагничен радиально, т. е. один полюс прижимается к бойку. Две катушки 3 и 4 непосредственно присоединены к сети переменного тока без каких-либо переключателей, выпрямителей и т. п. Провод 5 выполнен из расслоенного железа.

Действие молотка основано на том, что в зависимости направления тока м. д. с. постоянного магнита у одного из полюсов бойка складывается с м. д. с. катушки, а у другого вычитается. Соответственно боек полупериода движется в одном направлении, а полупериода — в другом, а при токе 50 Hz он дает 3000 ударов в минуту.

Следует отметить, что в этой конструкции при колебании бойка поток магнита остается почти постоянным, так как суммарная магнитная проводимость верхнего и нижнего зазора остается почти постоянной вне зависимости от положения бойка. Поэтому здесь потери в магните должны быть невелики. Повышение  $\cos \varphi$  обусловлено тем, что при колебаниях бойка поток постоянного магнита наводит в катушках э. д. с., действующую так же, как э. д. с. полюсов обычных синхронных машин.

Как показывает расчет, на этом принципе можно получить 7-кг молотажный или клепально-обрубочный молоток с живой силой удара около 0,3 кгм и  $\cos \varphi$  около 0,7. Этот принцип можно применить и к другим вибрационным машинам. В частности, автор предложил соленоидный вибратор, работающий на подобном принципе. Вибратор может найти применение в строительном, горном и как питатель в обогащательных и тому подобных заводах, а также в зерноочистительном и мукомольном деле. Преимущества вибратора — малое потребление энергии и предельная простота при всех остальных достоинствах соленоидных вибраторов.

Второй вариант представлен на рис. 8 N—S — постоянный магнит, выполненный в виде трубы внутреннего магнитопровода; 2 — боек; 3 — катушка соленоида; 4 — замыкающий внешний магнитопровод. Катушка непосредственно приключена к сети 50 Hz. Как видно, боек может колебаться в обе стороны из положения магнитного равновесия (резонансный принцип), однако в отличие от вышеописанного резонансного молотка втягивающее усилие благодаря наложению постоянного потока, достигает максимум не дважды за период, а один раз, и молоток дает всего 1500 ударов в минуту.

Повышение  $\cos \varphi$  объясняется тем, что при колебаниях

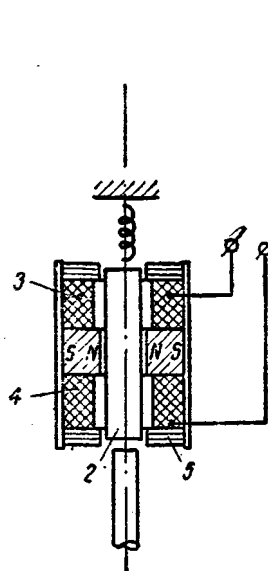


Рис. 7. Молоток системы А. И. Москвитина с постоянными магнитами на 3000 ударов в минуту

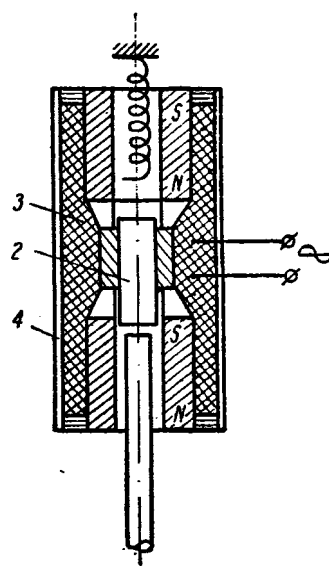


Рис. 8. Молоток системы А. И. Москвитина с постоянными магнитами на 1500 ударов в минуту

бойка изменяется поток постоянного магнита, причем в соленоиде наводится э. д. с. (движения), направленная противоположно току. Эта э. д. с. и повышает  $\cos \varphi$ .

В этой конструкции поток постоянного магнита пульсирует, поэтому возможны потери в магните на гистерезис и токи Фуко. Как показывает расчет и опыты на макетах, потери на гистерезис относительно невелики (цикл идет по кривой частичного гистерезиса), потери на токи Фуко можно практически исключить расслоением магнита до толщины 8 мм (омическое сопротивление здесь очень

велико — порядка  $1-2 \Omega \frac{\text{мм}}{\text{м}}$ ). Размагничивания больше того, которое происходит при первом цикле, в дальнейшем не наблюдается. Как показывает расчет, при помощи такого молотка можно получить живую силу удара около 0,15 кгм на 1 кг веса постоянного магнита и  $\cos \varphi = 0,7$ .

На аналогичном принципе автор предложил вибраторы для горного дела и т. п.

Для тяжелых работ, в том числе и для отбоя угля, не раз предлагалось питать синхронные молотки током пониженной частоты и таким образом снизить число ударов.

Недостаток такой системы — необходимость отдельной сети для молотков, наличие преобразователя частоты и возрастание веса инструмента. Система с пониженной частотой получения применения только там, где нет потребности в отдельной сети и в преобразователе.

Асинхронные (магнитофугальные) молотки. Молоты с асинхронной машиной, развернутой на плоскость, нашли некоторое применение, главным образом, для тяжелых кузнечных и тому подобных работ. Для отбойных молотков, как показали работы последних лет (в том числе и работы автора), этот принцип очень трудно применить. Основная трудность — проблема намагничивающего тока, которую здесь, в малых машинах, гораздо сложнее решить, чем в тяжелых молотах с большим полюсным делением. Кроме того, здесь остаются в силе общие вопросы магнитофуг — изменение направления хода бойка, повышения к. п. д., которые в условиях угольной промышленности приводят к очень сложным решениям.

Стремление устранить недостатки винтового электромеханического молотка — низкий к. п. д. и износ — привело автора к созданию нового типа молотка — с электромагнитным винтом. Принцип одного из вариантов такого молотка представлен на рис. 9. На поверхности статора 1 и ротора 2 асинхронного двигателя нанесена винтовая резьба<sup>3</sup>, причем в отличие от обычных винтов с гайкой внешний диаметр ротора меньше, чем внутренний диаметр статора. Таким образом при отсутствии тока ротор не может механически ввинчиваться в статор, а свободно вращается. Совершенно другое происходит при включении тока.

<sup>3</sup> Резьба легко выполняется в собранной необмотанной машине.

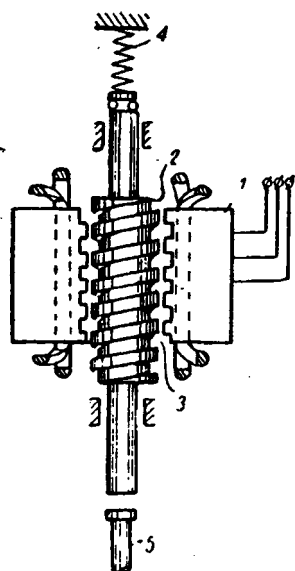


Рис. 9. Схема молотка с электромагнитным винтом системы А. И. Москвитина

В силу электромагнитного притяжения ротор устанавливается так, чтобы его резьба пришлась против резьбы статора. Получился электромагнитный винт — передача, до сих пор неизвестная. Основное отличие от обычной винтовой передачи — полное отсутствие трения и износа в резьбе.

При включении многофазного тока ротор начинает вращаться и ввинчиваться по резьбе, заряжая пружину. Рабочий ход ротора-бойка осуществляется за счет явления срыва с резьбы, которое состоит в следующем. Когда пружина сожмется настолько, что сила ее упругости станет больше максимального ввинчивающего усилия, резьба ротора перестает следовать за резьбой статора, ввинчивающее усилие исчезает, и

ротор под действием пружины начинает двигаться в обратном направлении, не останавливаясь вплоть до удара. Перед ударом ротор несколько сжимает пружину переднего буфера, вследствие чего после удара получается толчок в обратном направлении, резьба ротора начинает вновь следовать за резьбой статора, и процесс повторяется. Ввинчивание по электромагнитной пружине вплоть до срыва с резьбы. Частота ударов зависит от жесткости пружины и длины хода и может быть изменена, причем со снижением частоты ударов повышается сила удара. Некоторым недостатком при варианте с магнитным двигателем является увеличение намагничивающего тока из-за увеличения приведенного зазора, вследствие чего уменьшается  $\cos \varphi$  (до величины около 0,5). Однако и этот недостаток устраняется при применении ротора из постоянного магнита. Как видно из рисунка, конструкция молотка получается простой: нет ни сложной механизмы сцеплений и т. п. Ротор одновременно играет роль бойка, вследствие чего отпадает необходимость в отдельном бойке (около 1,5 кг). Вращение ротора может быть использовано для автоматического поворота любого инструмента, где это требуется, т. е. молоток может найти применение не только в качестве отбойного, но и в качестве бурильного и универсального.

Таким образом описываемый молоток объединяет достоинства электромеханического молотка — низкая частота и большая сила удара, нормальная вращающаяся скорость — хорошая машина к. п. д., и достоинств молотков — простота конструкции, отсутствие необходимости в замене ротора с бойком.

## Ионный преобразователь частоты для регулирования скорости асинхронных двигателей

Д. А. ЗАВАЛИШИН

Ленинградский индустриальный институт

**РЕГУЛИРОВАНИЕ** скорости асинхронных двигателей осуществляется наилучшим образом помощью изменения частоты тока, питающего статор машины.

Существовавшие методы регулирования частоты не получили широкого распространения ввиду громоздкости схем и низкого к. п. д. вращающихся преобразователей.

В последнее время было обращено внимание на те возможности, которые открывает применение ионных управляемых приборов в качестве преобразователей частоты. Ионные преобразователи частоты нашли первоначально применение за границей при преобразовании однофазного тока частоты 50 Hz в однофазный же ток частоты 162/3 Hz, необходимый для питания линий электрических железных дорог. В Америке был выполнен ионный преобразователь (на тиратронах), предназначенный для преобразования тока частоты в 60 Hz в ток частоты 255/7 Hz, одновременно с тем ток преобразовывался из трехфазного в двухфазный.

Все эти схемы предполагали, однако, строго фиксированное соотношение частот, причем такое, при котором в полупериод преобразованной частоты входило целое число полупериодов преобразуемой. Например, при преобразовании однофазного тока соотношение частот было принято равным трем, тогда как при преобразовании трехфазного соотношение частот принято равным 2,33 в связи со сдвигом фаз на 120°. Никаких особых трудностей при создании таких преобразователей не возникает, так как коммутирование тока в них идет за счет напряжения преобразуемой частоты. Значительно большие трудности представляет создание ионного преобразователя, предназначенного для плавного преобразования частоты в широких пределах. Создание такого преобразователя является, однако, весьма заманчивым, так как от-

крывает большие возможности в отношении регулирования скорости электродвигателей переменного тока. Интерес представляет, конечно, возможность регулирования скорости асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Первая попытка создания такого ионного преобразователя была сделана американским инженером Sabbah, описана им в ряде статей на страницах журнала C. Отвлеченный и путанный характер статей Sabbah не дает, однако, прямого ответа на вопрос о том, можно ли создать такой преобразователь.

Всесоюзный электротехнический институт (ВЭИ), интересовавшийся идеями Sabbah, попытался воспроизвести его схему, пользуясь данными как статей, так и патента Sabbah. В результате большой экспериментальной работы ВЭИ выяснилось, что, став на путь схем Sabbah, регулировать скорость лишь таких машин переменной частоты, которые имеют независимое возбуждение, т. е. асинхронные двигатели и асинхронные с фазокомпенсацией. Вопрос о регулировании скорости короткозамкнутых асинхронных двигателей оставался открытым. ВЭИ (ныне ГИИ) была затем предложена схема регулирования частоты помощью вентильного преобразователя, позволяющая помимо регулируемого двигателя еще вентильно управлять на полную мощность регулируемого двигателя.

Ленинградский индустриальный институт в лице ГИИ, работавшей по изысканию новых схем регулирования скорости электродвигателей переменного тока по ГУМП, направил также свои усилия для разрешения проблемы регулирования частоты ионными приборами.

<sup>1</sup> GER № 5, 10, 12, 1938, Series parallel Typ Converter.



Пришел в настоящее время к схеме чисто статического ионного преобразователя, позволяющего регулировать частоту в широких пределах и с тем током преобразованной частоты короткозамкнутые асинхронные двигатели. Схема преобразователя разработана в настоящий момент полностью и опробована на опытной установке в электромашинной лаборатории ЛИИ. Дана теория преобразователя, установлена методика его и, как завершение, произведен расчет и выполнен проект опытного ионного преобразователя для регулирования скорости электродвигателя дымососа.

Принципиальная схема главной цепи преобразователя дана на рис. 1. Сеть, имеющая неизменную частоту  $f_1$  при напряжении  $U_1$ , присоединена к потенциальному регулятору (необязательной части схемы, так как регулирование напряжения может осуществляться путем отсечки напряжения) к 18 тиратронам, помеченным стрелками и номерами 1—6; 1'—6' и 1''—6''. Тиратроны присоединены в свою очередь к первичной обмотке  $T$  трансформатора. Трансформатор имеет шестифазную первичную обмотку, причем две трехфазные звезды ее соединены нулевыми точками через разделительную катушку  $LL$ . Сетевая разделительная катушка присоединена через реактор  $L_0$  к нулевой точке первичной обмотки потенциального регулятора (или к искусственной нулевой точке при отключении потенциал-регулятора и регулировании напряжения отсечкой зажигания тиратронов). Вторичная обмотка трансформатора  $T_2$  — обычная трехфазная, соединенная звездой или треугольником, питает шины вторичной регулируемой частоты ( $f_2$  при напряжении  $U_2$ ). К этой обмотке подключена батарея статических конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ . К шинам регулируемой частоты подключены асинхронные двигатели АД.

Схема сеточного управления дана в элементарном виде на рис. 2, где показана группа из трех тиратронов  $T_1$ ,  $T_1'$  и  $T_1''$ , присоединенных своими анодами к одной и той же фазе обмотки  $T_1$  основного трансформатора. Катоды тиратронов присоединены к различным фазам питающей сети для получения возможности питания данной фазы трансформатора в любой момент времени. Аккумуляторы  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  задают отрицательный потенциал сетки тиратронов тогда, когда коммутаторами  $K_1$  и  $K_2$  положительный полюс батареи отсоединен. Наоборот, на аноде тиратрона появляется положительный потенциал при замыкании положительного полюса батареи через коммутаторы на сетку. Коммутатор  $K_1$ , имеющий три разрезных кольца и две вращающиеся щетки, сдвинутые на  $120^\circ$  (электрических) подает на сетки тиратронов положительный потенциал с таким чередованием во времени, которое необходимо для получения той или иной вто-

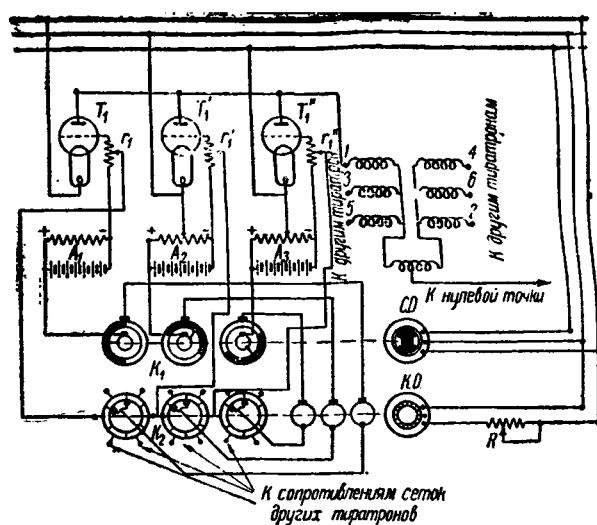


Рис. 2

ричной частоты<sup>2</sup>. Щетки этого коммутатора приводятся во вращение от маленького универсального коллекторного двигателя  $KD$ , регулируемого реостатом  $R$ . Две щетки на коммутаторе  $K_1$  установлены для того, чтобы осуществить одновременную подачу положительного потенциала на два тиратрона, принадлежащие разным фазам трансформатора, таким образом, чтобы одновременно осуществлялось протекание тока по двум фазам трансформатора, лежащим в разных трехфазных звездах. Этим осуществляется правильность фазировки токов и создается возможность работы разделительной катушки  $LL$ .

На рис. 3 дано распределение тока в первичной обмотке  $T_1$  — основного трансформатора схемы, причем протекание токов показано для двух моментов времени. Схема  $a$  дает протекание токов по фазам 1 и 2, схема  $b$  показывает момент, когда ток, протекавший по фазе 1, коммутирован в фазу 3. На рис. 3 показано справа схематическое распределение токов в первичной обмотке  $T_1$ , а слева — соответствующая схема первичной обмотки на трансформаторе, распределение токов в фазах и магнитного потока в железе.

<sup>2</sup> На рис. 2 показано присоединение к сеточной цепи лишь одной из шести пластин каждого разрезного кольца. Остальные пластины служат для подачи положительного напряжения на сетки остальных 15 тиратронов, не показанных на рис. 2.

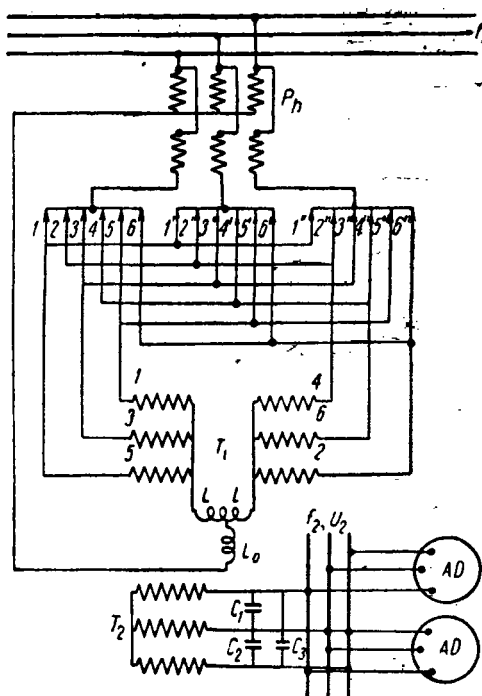


Рис. 1

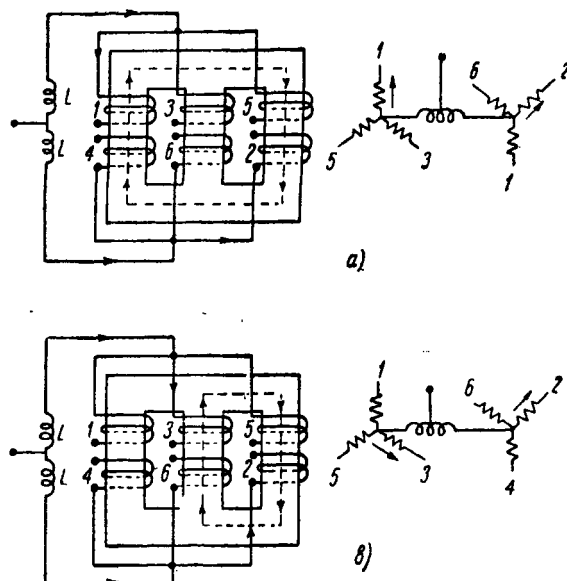


Рис. 3

Коммутатор  $K_2$  схемы рис. 2 приводится во вращение маленьким синхронным (реактивным) двигателем и служит для отсечки первичного напряжения.

Установим теперь основные особенности работы схемы. При двух щетках на основном коммутаторе  $K_1$ , задающем частоту, имеем, как то и было уже указано, одновременную подачу положительного потенциала на сетки тиратронов, питающих две фазы первичной обмотки трансформатора. При этом каждая фаза трансформатора ведет теоретически ток в течение времени поворота щеток коммутатора на  $120^\circ$  электрических, после чего она должна передать ток следующей фазе той же трехфазной звезды (например 1 передает ток фазе 3 — см. рис. 3).

Переход тока с фазы на фазу, или, как говорят, коммутация тока, может, как известно осуществляться двумя различными способами. Первый способ — тот, который и применяется в упомянутых выше преобразователях с фиксированным соотношением частот, — состоит в том, что после подачи отрицательного потенциала на сетку тиратрона последний горит до тех пор, пока на аноде его имеется положительное напряжение, обусловленное напряжением первичной сети, а затем погаснет, другие же тиратроны, питающие данную фазу трансформатора, не смогут загореться, так как на их сетки подается отрицательный потенциал одновременно с сеткой горевшего тиратрона, питающего данную фазу трансформатора, не известно, для пуска в ход вентильного двигателя, когда прогнвоэлектродвижущая сила мала по величине и не может обусловить коммутирование. При малых скоростях вращения задающего частоту коммутатора период преобразованной частоты велик по сравнению с преобразуемой и время задержки коммутации равно при трехфазном питании, в худшем случае,  $5/12 T_1$ , где  $T_1$  — период преобразуемой частоты. Однако и при этих частотах является весьма нежелательным то обстоятельство, что полупериоды преобразованной частоты получаются неодинаковыми, так как при плавном преобразовании частоты возможна коммутация тока при любом значении преобразуемого напряжения. Это дает низшие гармоники тока, весьма вредные, как известно, для асинхронных машин. Ввиду этого коммутирование напряжением оказывается недопустимым не только при значительных вторичных частотах, но и при низкой частоте. В этом отличие схемы от таковой же вентильного двигателя.

Вторая возможность коммутирования обуславливается, как известно, наличием в коммутируемых контурах э. д. с., способствующей переходу тока с фазы на фазу. Такая коммутирующая э. д. с. имеется в данной схеме благодаря наличию конденсаторов на вторичной стороне трансформатора.

Допустим сперва, что при достаточно низкой частоте коммутация тока идет за счет напряжения питающей схемы сети. При этом будем иметь форму кривой тока в фазах первичной обмотки трансформаторов в виде прямоугольников (рис. 4) с основанием, соответствующим  $1/3 T_2$ , где  $T_2$  — период преобразованной частоты. Во вторичной обмотке трансформатора получится также прямоугольная кривая тока. Причем, так как каждая фаза вторичной обмотки находится под воздействием двух фаз первичной, кривые токов в этих фазах будут подобны по форме изображенным на рис. 4. Ток вторичной обмотки трансформатора находит себе путь через конденсаторы и двигатель. Весьма нетрудно, зная реактивное сопротивление конденсатора, а также полное сопротивление двигателя при некотором заданном скольжении его, определить токи через двигатель и конденсаторы. Для этого приходится, конечно, разложить кривую тока рис. 4 в ряд Фурье и найти токи каждой из гармоник в двигателе и в конденсаторах. Проводимость конденсаторов для высших гармонических будет значительно больше, поэтому можно считать, что практически все высшие гармоники пройдут через конденсаторы, а двигатель получит лишь первую гармоническую преобразованной частоты. В связи с этим напряжение высших гармонических, обусловленное в основном их падением на конденсаторах, окажется весьма небольшим, и двигатель будет работать при напряжении, весьма мало отличающемся от синусоидального. С этой точки зрения роль конденсаторов сводится к фильтрации высших гармонических, что уже весьма существенно, так как позволяет получить форму кривой напряжения на двигателе, близкую к синусоидальной.

Ограничивая, однако, роль конденсаторов фильтрацией высших гармоник, мы не должны в то же время забы-

вать о низших гармониках, вызванных непостоянством коммутации, так как коммутирование, казалось бы, при данных условиях за счет напряжения. Будем изменять емкость конденсаторов, увеличивая ее постепенно путем, например, добавления отдельных конденсаторов. При этом удастся, конечно, не только пропустить высшие гармоники, но и взять на конденсаторы реактивный ток двигателя в большей или меньшей мере.

Мы приходим ко второму весьма существенному вопросу, связанному с пропуском реактивного тока тиратронами. Дело заключается здесь в том, что при отсутствии конденсаторов пришлось бы пропускать реактивный ток, нужный для намагничивания двигателя, через тиратроны. Последнее заставило бы значительно усложнить схему сетевого управления, так как пропуск реактивного тока связан с инвертерным режимом работы тиратрона (в момент, когда ток, вследствие сдвига его по фазе, должен проходить «против напряжения», надо, чтобы тиратроны соответствующих фаз работали в инвертерном режиме), причем этот инвертерный режим должен время чередоваться с обычным выпрямительным режимом. Наличие такого чередующегося режима работы тиратронов требует двойного коммутатора сети, позволяющего подавать некоторое время положительный потенциал на сетки тиратронов при отрицательном напряжении на аноде. Такой коммутатор был изготовлен в ЛИИ и опробован, и он дал неплохие результаты.

Наличие конденсаторов во вторичной цепи трансформатора и возможность «взять» реактивный ток двигателя конденсаторы позволяют избавиться от сложного двойного коммутатора сети.

Мы установили таким образом две основные роли, которые выполняют конденсаторы. Дело, однако, этим ограничивается. Если увеличить емкость конденсаторов настолько, чтобы заставить проходить по вторичной обмотке трансформатора опережающую составляющую, таким образом, чтобы и в первичной обмотке трансформатора ток опережал э. д. с., там индуктированную, роль конденсаторов будет исчерпана. Возможность дать при помощи конденсаторов опережающий ток является в данном случае, пожалуй, самой важной.

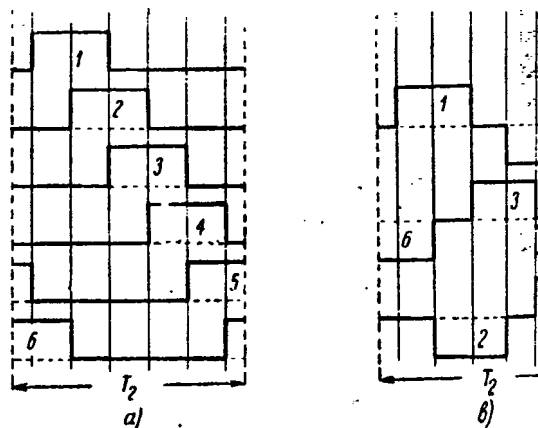


Рис. 4

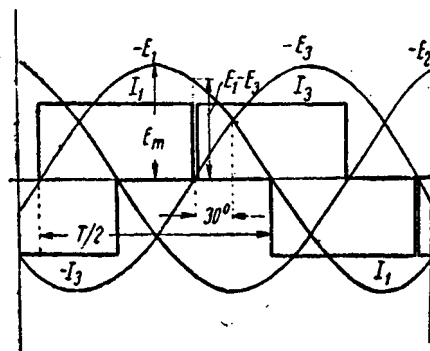


Рис. 5. Опытная установка ионного преобразователя частоты, разработанного ЛИИ

Дело заключается в том, что при соответствующем протекании тока течение коммутационного процесса определенным образом изменяется. Появляется коммутирующая э. д. с., такая же, как в вентильном двигателе. Исчезает неравномерность дуг.

Чтобы уяснить это, надлежит лишь обратить внимание на то обстоятельство, что напряжение, приложенное к двигателю, а следовательно, и ко вторичной обмотке трансформатора, меняется по кривой, весьма близкой к синусоиде первой гармоники вторичной частоты. При этом и э. д. с., индуцируемая во вторичной обмотке, и в первичной обмотке трансформатора, весьма близка по форме к синусоиде. Ток имеет попрежнему прямоугольный характер. Прямоугольник тока может быть, однако расположен различным образом по отношению к кривой э. д. с. трансформатора. Положение этого прямоугольника зависит всецело от того избытка емкостного тока, который обусловлен конденсаторами, от величины активного тока, потребляемого асинхронным двигателем. Ток в трансформаторе обусловлен таким фазовым высшими гармониками (которые составляют при прямоугольной кривой с отношением прямоугольника к синусоиде  $1/3 T_2$ , относительно полной током двигателя и избыточным опережающим реактивным током конденсаторов. Весьма нетрудно подобрать таким образом емкость и сдвинуть кривую тока трансформатора в такую часть

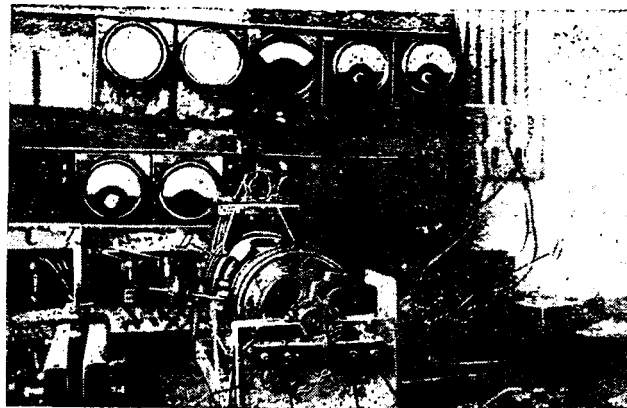


Рис. 6.  $T$  — тиратроны,  $T_1$  — трансформатор,  $D$  — двигатель, сочлененный с электромагнитным тормозом  $E$

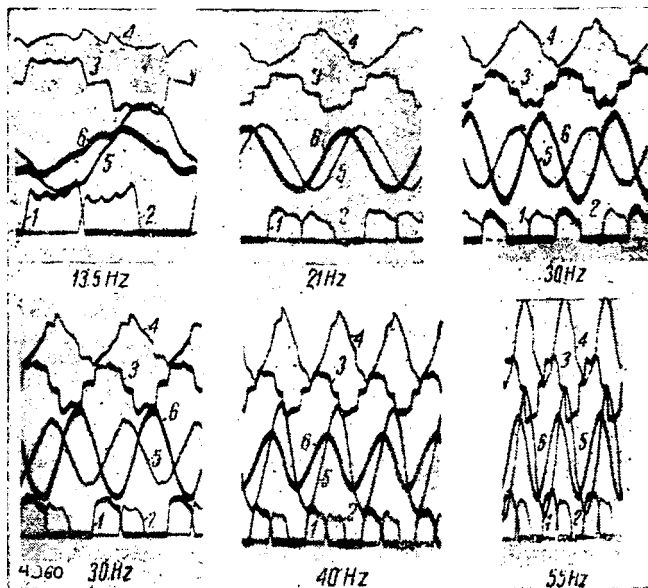


Рис. 7

второй э. д. с., чтобы обусловить коммутирование уже сдвинутой э. д. с. двух коммутируемых фаз. Сдвиг ток на  $30^\circ$  по отношению к волне э. д. с., получившийся расположением э. д. с. и токов двух коммутируемых фаз (1 и 3) согласно рис. 5. Ток фазы 1 начинается в начале положительной волны э. д. с. и заканчивается в значении э. д. с., соответствующем  $E_m \sin 120^\circ$ . В этот момент наступает коммутация тока на фазу 3. Имеем в фазе 1 и 3 фаз линейную э. д. с.  $E_1 - E_3$ , которая, как это усмотреть, направлена коммутирующим образом. Издается, что избыточный реактивный ток конденсаторов позволяет устанавливать необходимый коммутационный момент и играет ту же роль, как в вентильном двигателе сдвиг коммутатора двигателя. Путем подбора или иной емкости конденсаторов удается добиться желательного течения коммутационного процесса во всех нагрузках и скоростях двигателя. Условия коммутации оказываются здесь более легкими, чем в вентильном двигателе, так как в процессе коммутации участвует лишь реактивность рассеивания трансформатора, гораздо меньшая, чем реактивность рассеивания синхронной машины, какой по существу является вентильный двигатель.

На опытной установке, выполненной в электромашинной лаборатории Ленинградского индустриального института, были проверены все высказанные выше положения. Установка включала в себя следующие основные части: и электрические машины: тиратроны типа ТГ-160 на 1 А; асинхронный двигатель 380/220 В, 1500 об/мин, 1 кВт, 50 Гц; трансформатор шестифазно-трехфазного типа; потенциал-регулятор, реактивную и разделительные

катушки, а также газотронные выпрямители, питающие сеточные цепи. На рис. 6 дана фотография всей установки.

Результаты исследования лучше всего могут быть иллюстрированы осциллограммами, снятыми при различных частотах в различных условиях нагрузки двигателя. На рис. 7 дана серия таких осциллограмм. Кривые 1 и 2 дают ток в двух последовательно коммутируемых фазах одной трехфазной звезды первичной обмотки трансформатора преобразователя частоты. Из осциллограмм отчетливо видно безупречное, во всех случаях, течение коммутационного процесса. Кривая 3 дает ток в фазе вторичной обмотки трансформатора.

Кривая — ступенчатая, отличающаяся от кривых рис. 4, б только тем, что, во-первых, получается трапеция, а не прямоугольник, вследствие конечного времени, необходимого на коммутацию тока, а, во-вторых, заметна некоторая волнистость тока в пределах каждой полуволны вследствие неполного сглаживания. Кривая 4 дает ток в конденсаторах, приключенных параллельно двигателю. Кривая 5 — ток в фазе асинхронного двигателя, весьма близкой по форме, как то видно из всех осциллограмм, к синусоиде. Кривая 6 дает почти чисто синусоидальное напряжение на зажимах асинхронного двигателя. Осциллограммы сняты, как это показано на рисунке, для пяти значений вторичной частоты — 13,5; 21; 30; 40 и 55 Гц при первичной частоте в 50 Гц. Первая осциллограмма

в нижнем ряду, слева, снята для полной нагрузки асинхронного двигателя, остальные — при холостом ходе. Возвращаясь к кривой 4 — тока в конденсаторах, можно указать, что кривая эта может быть легко получена теоретически, если в первой гармонике тока конденсаторов прибавить высшие гармонические, обусловленные разницей между первой гармоникой тока во вторичной обмотке трансформатора и прямоугольной кривой действительного тока в этой обмотке.

На рис. 8 дано построение, позволяющее получить форму кривой тока в конденсаторах.

Из рассмотрения  $\Sigma I_c$  — результирующей кривой тока в конденсаторах, полученной путем вычитания разности ординат кривых  $I_2$  и  $I_m$  из ординат кривой тока  $I_c$  и сравнения ее с одной из кривых 4 рис. 7, видна их полная тождественность (конечно, для тех случаев, где соотношение активных и реактивных токов близко к принятому на рис. 8). При точном расчете не представляет, конечно, особых трудностей учесть то обстоятельство, что высшие гармоники тока в конденсаторах вызывают определенное падение напряжения, что сказывается на искажении формы тока в двигателе.

Точные подсчеты, произведенные для ионного преобразователя значительной мощности, показали, что наибольшая из гармоник — 5 — не превышает 5% от амплитуды первой гармонической, что не сказывается существенно на работе двигателя, тем более что расчет был произведен в предположении прямоугольной кривой тока во вторичной обмотке трансформатора, тогда как на самом деле вследствие перекрытия эта кривая приближается к трапе-

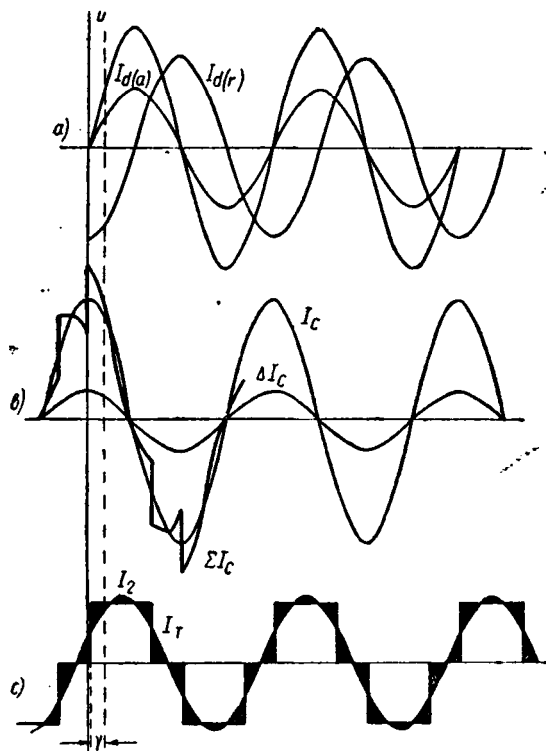


Рис. 8

$U$  — приложенное к двигателю напряжение;  $I_{d(r)}$  и  $I_{d(a)}$  — реактивный отстающий и активный токи асинхронного двигателя;  $I_c$  — первая гармоническая тока в конденсаторах,  $\Delta I_c$  — превышение этой гармоники над реактивным током двигателя,  $\Sigma I_c$  — результирующая кривая тока в конденсаторах;  $I_T$  — прямоугольная кривая тока во вторичной обмотке трансформатора,  $I_2 = I_{d(a)} + \Delta I_c$  — первая гармоническая этого тока.

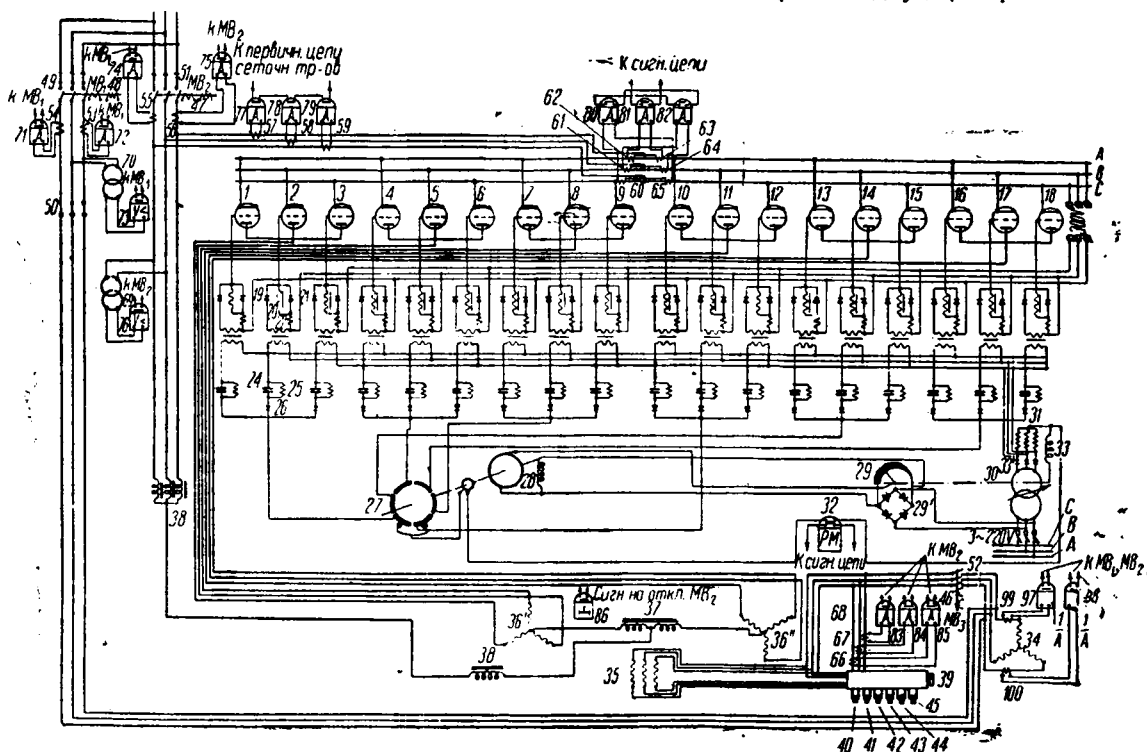


Рис. 9. Практическая схема ионного преобразователя частоты, разработанного ЛИИ

1 — 18 — тиристоры типа ТИ-100-15, 19 — 21 — газотроны сеточных цепей, 20 — реактор сеточной цепи, 22 — сопротивление в цепи отрицательного сеточного напряжения, 23 — сеточный трансформатор, 24 — конденсатор в цепи первичной обмотки трансформатора, 25 — сопротивление в первичной цепи сеточного трансформатора, 26 — купроксный выпрямитель, 27 — коммутатор, задающий частоту, 28 — двигатель постоянного тока, приводящий во вращение коммутатор, 29 — реостат в цепи двигателя постоянного тока, 29<sup>а</sup> — выпрямитель (купроксный), питающий двигатель, 30 — фазорегулятор сеточной цепи, 31 — активное сопротивление, 32 — максимальное реле, воздействующее на сеточную цепь, 33 — сглаживающий реактор в цепи выпрямителя, 33<sup>а</sup> — купроксные выпрямители, 33<sup>б</sup> — источник отрицательного смещения, 34 — обмотка статора асинхронного двигателя, 35 — вторичная обмотка силового промежуточного трансформатора, 36 — первичные обмотки силового трансформатора, 37 — разделительная катушка, 38 — реактор в нулевом проводе, 38<sup>а</sup> — искусственная нулевая точка, 39 — переключатель вторичной обмотки трансформатора и конденсаторов, 40 — 45 — батареи конденсаторов, 46, 47, 48 — масляные автоматы, 49, 50, 51, 52 — разъединители, 54 — 68, 99, 100 — трансформаторы тока, 69, 70 — трансформаторы напряжения, 71 — 86, 97, 98 — защитные реле.

ций, что дает еще значительно меньшие гармоники в первой вторичного напряжения.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что последние из осциллограмм рис. 8 сняты при вторичной частоте большей, чем первичная частота. При опытных исследованиях удалось довести вторичную частоту до 60 Гц. Выше не представлялось возможным идти по двум причинам. Во-первых, при больших вторичных частотах: — лучалась слишком большая по механическим соображениям скорость вращения коммутатора, фиксирующая вторичную частоту, во-вторых, нарушалось течение мутационного процесса. Последнее, как было выяснено путем расчета, имело место вследствие влияния реактивности трансформатора. Эта реактивность — основному реактивности поля рассеивания — была весьма значительна в опытном трансформаторе малой мощности. В нормальных силовых трансформаторах реактивность значительно меньше, вследствие чего в практических установках можно будет говорить не только о понижении, но даже о повышении частоты ионным преобразователем данной системы. Весьма возможно, что регулируемый двигатель выгодно будет рассчитывать не на частоту в 50 Гц, а на большую частоту, т. е. на большее число полюсов, ведя регулирование при более высоком абсолютном значении наименьшей частоты (например, регулировать частоту в пределах 40—80 Гц, вместо того, что вести регулировку в пределах 25—50 Гц). При этом удешевляется преобразователь, так как значительно уменьшается необходимая емкость конденсаторов.

В вентильном двигателе скорость машины вследствие неудовлетворительного течения процесса коммутации не может быть доведена больше чем до  $\frac{2}{3}$  синхронной, т. е. фактически частота, питающая двигатель, равна  $\frac{2}{3}$  первичной частоты. В противовес этому в ионном преобразователе регулирование может, как видно, вестись на скоростях, выше синхронных по отношению к первичной частоте. Весьма важно также то обстоятельство, что мощность асинхронной регулируемой машины практически не снижается против номинальной, тогда как мощность вентильного двигателя получается значительно меньше номинальной (соответствующей работе этой машины).

тве синхронного двигателя от первичной частоты) в наиболее совершенных схемах. сложности схема отличается от обычной схемы вы-жения постоянного тока лишь наличием конденсато-ибо трансформатор используется, так же как при фазном выпрямлении, с разделительной катушкой. ю тиратронов здесь, конечно, больше (18 вместо 6), каждый тиратрон играет здесь роль клапана, имеющего иение среднего тока к наибольшему, равное  $\frac{1}{3}$ , и идно, что тиратроны схемы ионного преобразователя ны иметь малую охлаждающую поверхность при юном катоде. Исуда возникает необходимость пересмотреть вопрос ествующего сортамента тиратронов, так как все выпу-емые теперь мощные тиратроны имеют отношение еного тока к его амплитуде  $\frac{1}{3}$ , что явно невыгодно и применения их в схеме ионного преобразователя. е того, весьма существенным параметром тиратрона и применении к схеме ионного преобразователя является а деионизации, ибо это время вместе со временем иромагнитной коммутации определяет необходимое

опережение тока ( $\gamma$ , рис. 8). Чем меньше опережение тока, тем лучше используется силовой трансформатор, так как при малом сдвиге тока среднее значение его первичного напряжения получается больше при той же амплитуде напряжения.

Практическая схема, как видно из рис. 9, в принципе та же, что и на рис. 1. Схема сильно разнится лишь в части сеточного управления. Практика несомненно внесет в схему ряд коррективов. Базируясь, однако, на проделанном экспериментальном исследовании и расчетах, им подтвержденных, можно установить, что задача создания статического ионного преобразователя для регулирования скорости асинхронных двигателей нами разрешена<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> В заключение считаем долгом отметить ту большую работу, которая была выполнена доц. П. П. Алексеенко при создании опытной схемы преобразователя частоты и ее исследовании, а также инж. В. И. Левиным при ее расчете. Необходимо также отметить участие инж. О. Г. Вегнера в разработке схемы сеточного управления.

## Некоторые вопросы классификации в электроприводе

Д. Г. ТУМАНИШВИЛИ

Грузинский индустриальный институт им. Кирова

ЧИТАЯ совершенно очевидной важность правильно разработанной в области электропривода терминологии, в настоящей статье мы делаем попытку наметить решения этой задачи. Первое, о чем мы считаем важным говорить, является вопрос о самом понятии электродвигательного привода.

Проф. В. К. Попов<sup>1</sup> указывает: «Электродвигатель вместе с промежуточными передачами и рабочей машиной является машинное устройство. В теории электрического привода мы будем называть такое машинное устройство электроприводом».

Нам кажется, что это определение является наиболее полным из всех известных.

Проф. С. А. Ринкевич<sup>2</sup> говорит: «Под понятием электрический привод будет подразумеваться не только комбинация механических передач, но и соотношение между двигателем и станком, будет ли это обслуживание одним двигателем нескольких станков или обратно — одного станка одним или несколькими двигателями».

Не говоря уже о тяжести и неясности подобного определения, можно, рассматривая его, прийти к неверному заключению, что основную роль в электрическом приводе играют «механические передачи».

Кроме того, предложение — под электроприводом понимать «соотношение» едва ли удобно.

Не менее малоубедительным является определение, приведенное В. В. Поповым<sup>3</sup>. Он считает, что «машинное устройство, состоящее из приводного электродвигателя вместе с промежуточными ременными, зубчатыми и иными передачами, мы будем называть электроприводом».

Из этого определения совершенно не отмечена роль производственной машины.

Более удачно, по нашему мнению, сформулировано деление, приводимое в книге И. И. Дорофеева и И. Зефирова<sup>4</sup>, где электроприводом называется применение электродвигателя для получения движения в исполнительных механизмах.

Нам кажется, что может быть более полным, охватывающим все три главных элемента электропривода является следующее определение:

Проф. В. К. Попов, Применение электродвигателей в машиностроении, ч. I, стр. 22.

Проф. С. А. Ринкевич, Электрическое распределение механической энергии, ч. II, стр. 244.

В. В. Попов, Электропривод на бумажных фабриках, стр. 11.

И. И. Дорофеев и С. П. Зефиров, Электрификация исполнительных механизмов, стр. 5.

вающим все три главных элемента электропривода является следующее определение:

«Электрическим приводом называется устройство, в котором механическая энергия сообщается рабочим органам производственной машины посредством различного рода передач после предварительного ее преобразования из электрической помощью электродвигателя».

Следующий момент, который нам хотелось бы затронуть, — это вопрос классификации электроприводов в отношении приближения электродвигателя к рабочим органам производственной машины. Кроме специальных случаев, чем ближе расположен электродвигатель к рабочим органам машины, чем меньше помещено между ними промежуточных частей, тем совершеннее следует считать электропривод.

В свете того, что сказано выше, совершенно понятным является деление электроприводов на две резко различные группы: а) одним двигателем приводится в движение несколько производственных машин; б) рабочие органы машины получают механическую энергию по крайней мере от одного специально для этой машины установленного электродвигателя.

Первая группа электроприводов называется трансмиссионным электроприводом, тогда как для второй группы уже установилось, хотя по нашему мнению и не вполне удачно, название «одиночного привода».

Совершенно понятно, что чем меньшее число станков присоединено на данном производстве к отдельным трансмиссиям, тем больше такое устройство приближается по ряду своих свойств к одиночному приводу.

В последнее время для первой группы электроприводов применяются следующие термины: трансмиссионный привод, групповой, крупногрупповой и мелкогрупповой привод.

Очень часто термин групповой привод оказывается равнозначным трансмиссионному; иногда, как будто, крупногрупповой в свою очередь является синонимом трансмиссионного; встречаются авторы, которые, очевидно, под мелкогрупповым и групповым электроприводами понимают одно и то же.

В своем докладе I Всесоюзной конференции по электро-моторным приводам<sup>5</sup> С. М. Лившиц применяет часто термин «трансмиссионный привод». Однако, вслед за этим докладчик говорит: «Деление трансмиссий не представляет значительных выгод. Являясь паллиативным решением

<sup>5</sup> «Труды», стр. 96, изд. 1931 г.

вопроса, мелкогрупповой привод соединяет в себе недостатки обеих систем». Таким образом в этом случае, судя по смыслу сказанного, докладчик имеет в виду деление трансмиссионного привода на собственно трансмиссионный и мелкогрупповой.

Проф. С. А. Ринкевич<sup>6</sup> пишет: «...Переходя к приводу, будем различать: а) старейший — групповой привод, б) одиночный привод, в) смешанную систему привода из двух предыдущих, г) индивидуальный привод», и дальше указывает: «Прежнее механическое распределение энергии в виде сложнейших трансмиссий, работающих от одного (подчеркнуто мною) первичного двигателя, разбитое по этажам и помещениям на отдельные группы станков, по возможности однотипных, работающих в одинаковых условиях «с малым простоем» от своих небольших трансмиссионных валов и электродвигателей, (большую часть группы мелких станков массового производства), представляет собой нынешний вид группового электрического привода».

Здесь мы видим, что термин «групповой привод» подразумевает то, что имел в виду С. М. Лившиц под названием «мелкогрупповой привод». С другой стороны, упоминание о групповом приводе как о «старейшем» виде привода может привести к мысли, что привод всех трансмиссий «от одного первичного двигателя» тоже является групповым. Во всяком случае, С. А. Ринкевич не делит приводы на мелко- и крупногрупповые.

Аналогичное мнение мы находим у В. К. Попова<sup>7</sup>, где он говорит: «Вскоре за появлением электродвигателей большинство новых предприятий стало уже оборудоваться не с общим трансмиссионным приводом от одного механического двигателя, а с групповым электрическим приводом от ряда двигателей».

СЭТ<sup>8</sup> приводит такое определение: «...длинные трансмиссии потребляли, как и раньше, значительную часть затрачиваемой энергии... Вследствие этого уже скоро перешли к так называемому групповому приводу, при котором ряд машин, по соседству расположенных и работающих, примерно, в одно и то же время, объединяются в группу с общим двигателем». Здесь тоже групповой привод не признается «старейшим» видом электроприводов.

Совершенно определенно ставят вопросы И. И. Дорофеев и С. П. Зефирова<sup>9</sup>. Они говорят: «при механических двигателях применялся групповой привод». Как видим, у этих авторов понятия трансмиссионного и группового приводов совершенно сливаются.

С. А. Пресс<sup>10</sup> считает, что «желание избавиться не только от главных трансмиссий, но и от более коротких групповых привело к делению трансмиссий на все более и более мелкие группы, вплоть до одиночного привода».

Из этого ясно, что С. А. Пресс делит привод на «главный трансмиссионный», «групповой» и «одиночный».

В. И. Трапицын<sup>11</sup> приводит следующее определение: «При крупногрупповом приводе от главного трансмиссионного вала обычно ответвляется несколько вторичных валов, от которых получают движение ткацкие станки». Однако далее тот же автор говорит: «при применении мелкогруппового электрического привода уже можно достигнуть увеличения производительности приблизительно на 70%».

Отсюда мы видим, что В. И. Трапицын крупногрупповым приводом называет то, что некоторые авторы называли или трансмиссионным, или просто групповым, а мелкогрупповым то, что некоторые понимали под названием группового.

Со своей стороны мы предлагаем для установления единообразия и ясного взаимного понимания разбить все электроприводы на две основные группы: а) трансмиссионные и б) одиночные. Последний термин нами оставлен без изменения, как уже прочно укоренившийся в теории электропривода, хотя бы может правильнее было бы принять термин «отдельный электропривод» вместо «одиночный».

<sup>6</sup> «Электрическое распределение механической энергии» ч. II, стр. 246.

<sup>7</sup> См. сноску 1, там же стр. 10.

<sup>8</sup> Т. IV, отд. 22 А, п. 2.

<sup>9</sup> См. сноску 4, там же, стр. 6.

<sup>10</sup> «Электрический привод металлообрабатывающих станков», стр. 7.

<sup>11</sup> «Электрический привод в текстильной промышленности», стр. 57.

Рассматривая дальнейшее деление этих двух главных групп, начнем с трансмиссионного электропривода.

Если трансмиссионный электропривод приводится движением одним электродвигателем на весь завод, несколько цехов или даже на весь отдельный цех, такой привод следует называть общетрансмиссионным.

Если станки одного и того же цеха разбиты на отдельные группы по тому или иному признаку, причем каждая группа обслуживается отдельным электродвигателем, мы будем иметь «групповой трансмиссионный электропривод».

Если в группу собраны лишь однородные станки, для этого случая мы предлагаем термин «однородный групповой трансмиссионный электропривод», в противном случае, т. е. когда станки в группе не однородны «неоднородный групповой трансмиссионный электропривод».

Затем надо еще установить термины, относящиеся второй группе электроприводов, к одиночным электроприводам.

Здесь прежде всего следует различать два пути, по которым может идти использование электродвигателя. Первый путь — для одиночного привода применяются малые электродвигатели серийного производства, а станки могут быть станками трансмиссионного и второй путь — большее или меньшее слияние электродвигателя со станком.

В то время как первый путь, являясь, скорее, лишь промежуточным этапом развития одиночного привода, требует от инженера-электрика только правильного выбора электродвигателя в соответствии с требованиями производственной машины, второй, вынуждает проектировщика электрика (в кооперации с механиком) детально изучать конструкцию приводимой машины, изменять самый тип электродвигателя, а зачастую создавать совершенно новый тип производственной машины, решительно отказываясь от прежнего.

Некоторые авторы, решительно настаивают на этом делении, усматривая в них совершенно различные течения в области одиночного привода, и с этой целью для первого случая вводят термин «индивидуальный».

Однако другие не считают необходимым различать два случая, и, например, И. И. Петров<sup>12</sup> говорит: «не искать особого смысла в словах «одиночный» или «индивидуальный электропривод».

С. А. Ринкевич<sup>13</sup> говорит: «Всякое оборудование с его элементом отдельным, исключительно его живящим двигателем или даже несколькими электродвигателями, приводимым отдельным электрическим приводом (одномоторным многомоторным)».

Наконец, встречающийся за последнее время и «индивидуальный привод» будем понимать как комбинацию машины с таким двигателем, который сконструирован совершенно индивидуально для нее».

И. И. Дорофеев, С. П. Зефиров указывают: «Электродвигатель и все электрооборудование, специально приспособленные к данному исполняемому механизму, называются индивидуальным одиночным приводом».

Мы считаем необходимость различения одиночного и индивидуального приводов для современного электропривода вполне обоснованной, тем более что точном переводе на русский язык слово «индивидуальный» означает не «одиночный», а «свойственный собственной самостоятельно существующей особи»<sup>14</sup>. (при этом остается без особого термина наиболее распространенный пока тот вид одиночного привода, в котором станку «приставлен» некоторый электродвигатель малютого каталожного типа, соединенный с ним шестерней. Мы предлагаем для этого случая принять термин «раздельный», одиночный привод, подразумевая свойство, что фактически электродвигатель и производственная машина в этом приводе существуют раздельно).

Конечно, если бы мы приняли выше вместо «одиночный» термин «отдельный», то в этом случае мы лучше предлагали бы термин «раздельный» вместо термином «одиночный». Действительно, это

<sup>12</sup> «Электрификация металлообрабатывающих работающих со снятием стружки», журн. «Строительный инструмент», X, 33, т. 1.

<sup>13</sup> См. сноску 2, там же, стр. 246.

<sup>14</sup> «Словарь иностранных слов» изд. «Советская энциклопедия» стр. 24; также см. латинско-русский и французско-русский словари.



мо бы, что для всей производственной машины установ-  
лен только один общий двигатель.

Дальнейшее развитие электропривода идет, как указы-  
вает В. К. Попов<sup>15</sup>, в следующем порядке: «За теми  
машинами устройствами, в которых достигнуто полное  
объединение двигателя с рабочей машиной в единое не-  
делимое целое, мы сохраняем понятие электрифицирован-  
ных машин. В тех случаях, когда двигатель сам является  
рабочей машиной, мы будем называть электропривод  
электромашиной».

Несогласие наше с вышеприведенными терминами осно-  
вано на следующем.

Термин «электрифицированный» скорее следует пони-  
мать в смысле применения, вообще, электрической энер-  
гии для приведения в движение станка. С другой сторо-  
ны, термин «электромашина» весьма часто применяется  
для обозначения машин, производящих электрическую  
энергию или потребляющих ее (генераторы и электродви-  
тели).

И. И. Дорофеев и С. П. Зефир<sup>16</sup> предлагают термин  
«электропроизводственные исполнительные механизмы»  
для тех случаев, когда «вал электродвигателя выполняет  
функции исполнительных механизмов».

<sup>15</sup> См. сноску 1.

<sup>16</sup> «Электрификация исполнительных механизмов», стр. 9.

С. П. Розанов и В. П. Павловский употребляют выра-  
жение «электропроизводственные машины», понимая в  
этом случае машины, в которых обрабатываемое изделие,  
детали и привод органически слиты в одно целое.

Мы полагаем, что термин «электропроизводственная ма-  
шина» является наиболее понятным, объемлющим и  
коротким.

Для случая, когда части электродвигателя сами являются  
рабочими органами машины (ролик рольганга, шлифоваль-  
ная машина, шпули ватеров и т. д.), мы полагаем возмож-  
ным применение термина «электроорудие».

Одиночный привод, имеющий для приведения в движе-  
ние рабочих органов производственной машины лишь  
один общий электродвигатель, называется однодвигатель-  
ным, в противном случае — многодвигательным.

Если двигатель или двигателя одиночного привода пи-  
таются электроэнергией непосредственно от сети цеха, мы  
предлагаем называть его «простым», если же для его  
питания установлен специально для данной производст-  
венной машины какой-либо дополнительный агрегат, пре-  
образующий один род тока в другой, одну частоту в  
другую и т. д., такой привод мы предлагаем называть  
«сложным».

Как видно из приведенной терминологии, значительная  
часть терминов, уже упоминается в различных техниче-  
ских литературных источниках, и мы лишь несколько  
дополнили их.

## Задачи советского трансформаторостроения в третьей пятилетке

П. П. ЧУСОВ, А. В. ПАНОВ

ВЭИ

В ГОДЫ ПЕРВЫХ двух сталинских пятилеток  
советское трансформаторостроение сделало  
огромный скачок вперед как по объему выпу-  
щенной продукции, так и в отношении освоения  
высших типов трансформаторов.

Если в 1913 г. общий выпуск трансформаторов  
царской России составлял 96 313 kVA общей  
мощности, то в СССР в 1927—1928 г. было вы-  
пущено уже 403 186 kVA [1]. Вместо прежних не-  
малых мастерских по изготовлению трансфор-  
маторов на отдельных заводах, выпускавших  
трансформаторы в небольшом количестве, на не-  
большое напряжения, в 1928 г. вошел в строй  
московский трансформаторный завод им. Куйбы-  
шева (МТЗ), хорошо оборудованный и к настоя-  
щему времени по объему выпускаемой продукции  
по ряду технических показателей далеко превос-  
ходящий любой завод Европы.

С 1931 г. изготовление трансформаторов было  
сосредоточено почти исключительно на МТЗ.  
За первую пятилетку МТЗ выпустил трансфор-  
маторов на общую мощность около 10 млн. kVA,  
вторую — около 16 млн. kVA.

В 1938 г. выпуск завода составил 3,5 млн. kVA,  
т. е. в 36 раз больше довоенного и почти в 9 раз  
больше 1927—1928 г. при совершенно несравни-  
мом уровне качественных показателей.

В довоенной России выпускались трансформа-  
торы мощностью не более 2000 kVA в единице.  
24 г. ХЭМЗ приступил к изготовлению транс-  
форматоров мощностью 12 500 kVA при напряже-  
нии 40 kV. В 1931 г. МТЗ построил трансформатор

15 000 kVA на 115 kV, в 1932 г. — 20 000 kVA,  
115 kV, трехобмоточный, в 1933 г. — 20 000 kVA,  
220 kV, двухобмоточный, в 1935 г. — 20 000 kVA,  
220 kV, трехобмоточный, в 1937 г. — 40 000 kVA,  
220 kV. Все данные относятся к одной единице.

Большие успехи достигнуты МТЗ и в области  
специального трансформаторостроения: трансфор-  
маторы для ртутных выпрямителей, печные, испы-  
тательные и измерительные трансформаторы [2].

Если в первые годы своей работы МТЗ почти  
целиком базировался в части конструкций транс-  
форматоров на данных иностранной техпомощи,  
то уже в 1932 г. завод пошел собственными путя-  
ми, спроектировав и пустив в производство свою  
советскую серию высоковольтных и мощных транс-  
форматоров с использованием исключительно оте-  
чественных материалов. Это было достигнуто бла-  
годаря росту собственных кадров завода, а также  
помощи со стороны трансформаторной лабора-  
тории Всесоюзного электротехнического института  
(ВЭИ).

И во все последующие годы тесная связь заво-  
да с трансформаторной лабораторией ВЭИ, обла-  
дающей большой экспериментальной базой и ква-  
лифицированными кадрами, способствовала бы-  
строму освоению производства мощных высоко-  
вольтных трансформаторов.

Производственная база. Грандиозны задачи, по-  
ставленные перед советским трансформаторострое-  
нием третьим пятилетним планом. Как известно,  
этот план намечает увеличение мощности электро-  
станций в 2,1 раза (с 8,1 млн. kW на конец вто-

рой пятилетки до 17,2 млн. kW в третьей пятилетке).

С 1913 по 1937 г. включительно у нас было изготовлено около 28 млн. kVA трансформаторов. С учетом некоторого количества импортированных трансформаторов к концу второй пятилетки в СССР было трансформаторной мощности более 30 млн. kVA на 8,1 млн. kW мощности электростанций.

Если иметь в виду примерно то же соотношение, то за третью пятилетку в СССР должно быть выпущено трансформаторов 33—34 млн. kVA, т. е. вдвое больше того, что было выпущено во вторую пятилетку. Но, кроме того, перед советским трансформаторостроением стоит особая задача, связанная со строительством величайшего в мире сооружения — двух Куйбышевских гидроэлектростанций общей мощностью в 3,4 млн. kW. При выпуске за первый год третьей пятилетки 3,5 млн. kVA и плане на 1939 г. порядка 5 млн. kVA, за последние 3 года третьей пятилетки необходим средний годовой выпуск трансформаторов в размере не менее 8 млн. kVA. Учитывая то, что в настоящее время потребность страны в трансформаторах удовлетворена неполностью, а также имея в виду указание в резолюции XVIII съезда ВКП(б) по докладу тов. Молотова о необходимости обеспечения энергетических резервов, годовой выпуск нужно оценивать минимум в 10 млн. kVA.

Увеличение выпуска трансформаторов с переключением под нагрузкой, испытательных трансформаторов, печных и пр. (т. е. типов трансформаторов более сложных и трудоемких) естественно должно отразиться на производственной мощности МТЗ. При рационализации производства и применении стахановских методов работы объем годового выпуска МТЗ на ближайший период может быть сохранен около 4—5 млн. kVA.

Принимая во внимание, что развертывание строительства Куйбышевских гидроэлектростанций предъявит в начале четвертой пятилетки дополнительный большой спрос на трансформаторы, в том числе и мощные сверхвысоковольтные, постройку в кратчайшие сроки заводов с общей проектной мощностью годового выпуска трансформаторов порядка 10 млн. kVA следует считать первейшей необходимостью. Развертывание производственной базы трансформаторостроения вызывает большую остроту в отношении обеспечения новых заводов кадрами. Это и в настоящее время является узким местом. Необходимо принять меры к расширению выпуска и правильного (по специальности) использования специалистов по аппарату и машиностроению, подготавливаемых МЭИ. С другой стороны, необходимо сейчас же позаботиться о подготовке кадров младшего и среднего технического персонала для будущих заводов на МТЗ.

В противном случае пуск новых заводов может недопустимо растянуться, так как возможная переброска некоторой части старых кадров с МТЗ вопроса полностью разрешить не сможет.

**Организация производства.** Масштабы выпуска трансформаторов в СССР требуют нахождения новых путей организации и технологии производства. Технологические методы производства транс-

форматоров как на ряде зарубежных заводов, так и у нас на МТЗ можно по существу характеризовать как кустарные. Необходимо форсировать переход на более совершенные, современные методы технологического процесса, например, поточное производство (сварка, сборка и т. д.), внедрение максимальной механизации производства (при изолировке ленточной изоляцией, изготовлении изоляционных деталей, применении магнитного дозирования ленточной трансформаторной стали, распределительных трансформаторов [3] и пр.). Необходимо предусмотреть разработку и введение более эффективных и ускоренных методов сушки и пропитки обмоток (например пропитка и заливка трансформаторов под вакуумом [4], применение новых скоросохнущих лаков и т. д.). Внедрение большей стандартизации отдельных узлов, установление точного технологического процесса производства и твердое выполнение его являются также одними из основных вопросов, подлежащих разрешению в третьей пятилетке.

**Внедрение новых стандартов.** Полное и рациональное использование вложенных в конструкции материалов и понижение аварийности электростанций возможно лишь при выполнении аппаратуры трансформаторов на основе технических требований, разработанных путем лабораторных эксплуатационных исследований. Разработанные в последние годы стандарты на трансформаторы, в том числе проект стандарта на разрядные и испытательные напряжения трансформаторов и аппаратуры, являются основой таких технических требований. Выпуск продукции, удовлетворяющей этим стандартам, является первоочередной задачей МТЗ, которая должна быть разрешена в ближайшие 2 года. Разрешение этой задачи возможно лишь на основе большой работы МТЗ и ВЗЗ. Заводская лаборатория должна быть в соответствии с поставленными задачами значительно расширена как со стороны кадров, так и технического оборудования. Недостаточное вложение средств на оборудование лаборатории МТЗ в 1939 г. может пагубно отразиться на сроках внедрения новых стандартов, обеспечивающих выпуск продукции, отвечающей современным требованиям.

В частности, для расширения производства грозоупорных трансформаторов должны быть поставлены работы по применению емкостной компенсации в большем числе типов трансформаторов и для большего диапазона напряжений внедрению трансформаторов с встроенными защитными разрядниками и т. д.

Выпуск трансформаторов, отвечающих современным требованиям, связан и с вопросом потерь. В третьей пятилетке совершенно не будем добиваться от металлургов серьезного уменьшения удельных потерь в трансформаторной стали, что сэкономит народному хозяйству миллионы рублей в год. Если по нашему стандарту потери в трансформаторной стали при индукции в 10 000 G составляют  $1,3 \frac{W}{kg}$ , то в ряде стран массовой продукции цифра потерь снижена до  $1,1—1,0 \frac{W}{kg}$ , а в США к настоящему времени изготовлены партии стали с потерями до 0,9



Задачей третьей пятилетки является — наладить ковое производство трансформаторной стали потерями  $1 \frac{W}{kg}$  и ниже.

**Развитие новых типов.** В третьей пятилетке советское трансформаторостроение сделает дальнейший громадный шаг вперед в освоении новых типов трансформаторов, настоятельно требуемых широким народным хозяйством. Но разработка и освоение этих типов теперь уже совершенно немыслимы без хорошо поставленных исследовательских работ, без четко работающих опытных цехов, быстро и в надлежащем количестве выполняющих модели для исследований и опытные образцы новой продукции.

Печален в этом отношении пример МТЗ, где изготовление моделей по важнейшим исследовательским работам ВЭИ и заводской лаборатории отодвигалось с одного года на другой, в результате чего исследования, выдвинутые в большинстве самим же заводом, срывались. Это тормозило освоение новых типов и улучшение качества и надежности выпускаемых трансформаторов. Кроме того, как правило, недопустимо растягивалось время между выпуском рабочих чертежей новых типов трансформаторов и выпуском реальных объектов.

В третьей пятилетке необходимо усилить оборудование опытных цехов, в первую очередь на МТЗ, отведя им соответствующие помещения, и организовать в четком плановом порядке быстрое изготовление моделей и образцов.

Важно рассматривается ряд новых типов трансформаторов, которым следует уделить особое внимание.

**Высоковольтные силовые трансформаторы.** Развитие мощных высоковольтных сетей и выросшая возможность более частых ударов молнии в линии электропередач и подстанций, а также повышение требований бесперебойности электроснабжения потребовали от трансформаторов способности противостоять высоким импульсным перенапряжениям, возникающим в них при этих ударах. Явился целый ряд типов грозоупорных трансформаторов: с защитой емкостным экраном в США, широкими катушками в США, со слойной обмоткой в Германии, с защитой конденсаторами в СССР. Как известно, эти типы получили название «нерезонирующих», что, правда, не совсем соответствует действительности. Общим у этих типов является выравнивание распределения электрических нагрузок на каналы между секциями обмотки, что значительно повысило грозоупорность трансформаторов.

В трансформаторной лаборатории ВЭИ с 1932 г. вернулись работы по исследованию нерезонирующих трансформаторов и изысканию более совершенных методов защиты. Работа проводилась опытниками ВЭИ и МТЗ. В результате для трансформаторов низших классов напряжения (110 кВ) была предложена неполная емкостная компенсация шитом (или витковыми шитками), идея которой была разработана в 1934 г., а экспериментальные работы были проведены в 1935 г. Первый трансформатор с неполной защитой витковыми шитками был выпущен МТЗ в 1938 г. — однофазный 110 кВ, 10 500 кВА).

Еще более важным достижением явилась родившаяся во время этих работ в лаборатории советская система внутренней защиты трансформатора посредством конденсаторов<sup>1</sup>. В конце 1937 г. был выпущен на МТЗ первый трансформатор с этой системой защиты (однофазный 154 кВ, 26 000 кВА).

В 1938 г. и в начале 1939 г. выпущено еще несколько таких трансформаторов. В середине 1939 г. будут построены трансформаторы с советской системой защиты на 220 кВ, 20 000 кВА в единице.

Неотложной задачей советского трансформаторостроения в третьей пятилетке является дальнейшее развитие, совершенствование (и упрощение в ряде случаев) советской системы защиты. Переход к относительно большому выпуску таких трансформаторов ставит вопрос о механизации процесса изготовления и изолировки конденсаторов.

В третьей пятилетке трансформаторостроение должно перейти почти исключительно на изготовление грозоупорных типов трансформаторов, в особенности для напряжений 220 и 110 кВ. Для этого необходимо форсировать исследования, связанные с советской системой защиты, и установить для каждого типа и напряжения систему и степень защиты (полная или неполная, с одного или с двух концов обмотки).

Изоляция трансформаторов 35 кВ в существующем выполнении почти соответствует требованиям грозоупорности. Необходимо лишь дополнительное уточнение, потребуется ли для достижения полной грозоупорности применение небольшой защиты, или выгоднее будет добиться того же некоторым усилением изоляции.

Что касается трансформаторов 6—10 кВ для сельских местностей, где в основном они присоединены к воздушным линиям, то здесь тоже стоит задача перехода исключительно на грозоупорный тип. МТЗ предложена своя конструкция защиты, которая применима для слойной обмотки. Трансформаторы 6—10 кВ в основном и идут со слойной обмоткой. В третьей пятилетке все 6—10 кВ трансформаторы должны выпускаться с защитой.

Кроме того, для ограничения верхнего предела импульсных и коммутационных перенапряжений, падающих на обмотку трансформатора, в последнее время начали применять разрядники, встроенные в трансформатор. МТЗ несколько таких опытных трансформаторов выпустил в 1938 г. Совершенно необходимым является в отношении трансформаторов на 6—10 кВ, связанных с воздушными линиями, перейти в течение 2—3 лет на выпуск грозоупорных типов со встроенными в трансформатор разрядниками.

**Трансформаторы с регулировкой напряжения под нагрузкой.** Советское трансформаторостроение имеет ряд достижений в области регулирования под нагрузкой. В настоящее время МТЗ выпускает бустер мощностью 60 000 кВА с переключением под нагрузкой, освоены и выпущены автотрансформаторы с автоматической плавной регу-

<sup>1</sup> В порядке исправления неточности, допущенной в журнале «Электричество» № 1, 1939 г., необходимо отметить, что авторами советской конструкции нерезонирующих трансформаторов являются инж. А. В. Панов и инж. М. В. Липковский. Ред.

лировкой для кремлевских звезд. Однако эти успехи в свете стоящих задач весьма малы, в особенности в отношении количественном. Это количественное и качественное отставание в области производства трансформаторов с регулировкой под нагрузкой должно быть в основном ликвидировано в третьей пятилетке. Это будет отвечать требованию, выдвинутому в резолюции по докладу тов. Молотова на XVIII съезде ВКП(б), — «Широко внедрить новейшую энергетическую технику...». Нужно ускорить освоение старых и разработку новых методов регулирования под нагрузкой, в частности, большое внимание должно быть уделено более совершенным методам плавной безконтактной регулировки.

**Передвижные резервные трансформаторы.** Стремление к уменьшению расхода таких ценных электротехнических материалов, как обмоточная медь и трансформаторная сталь, на резервные трансформаторы, а также, несомненно, и военные соображения привели за границей (например, в Германии) к появлению передвижных трансформаторов. Такой трансформатор всегда готов к работе, не требует никаких сборок и переборок на месте и для передвижения подвешивается к двум железнодорожным тележкам с надлежащим числом осей. Полностью собранный трансформатор целиком вписывается в железнодорожные габариты.

В 1938 г. АЕГ построила самый большой в мире по мощности передвижной трехфазный трансформатор на 120 000 kVA, 220 kV [5]. Вес его — 165 т. Перевозится он подвешенным на две железнодорожные тележки, по девять осей каждая. Расстояние между днищем трансформатора и рельсами при перевозке — 285 mm. Полный вес трансформатора с железнодорожными тележками — 250 т. Давление на ось — 14,5 т. Максимальная высота трансформатора — 4,3 м. Длина трансформатора без выступающих бушингов — 8,4 м. Полная длина с тележками — 34,5 м. Охлаждение — дутьевое с применением ряда вентиляторов.

Утверждают, что в случае аварии в любой энергосистеме Германии трансформатор может быть доставлен туда в течение 24 h, и на месте для пуска в работу требуется только приключить концы от сетей низкого и высокого напряжения.

Трансформатор — пятистержневой с высоким насыщением железа для уменьшения размеров магнитопровода и со специальными обмотками на ядрах для устранения высших гармоник в кривой намагничивающего тока. Специальная конструкция обмоток применена для уменьшения величины импульсных воздействий на элементы обмотки при ударах молний.

Ряд передвижных трансформаторов был построен за границей на меньшие мощности (30 000 kVA и др.).

Для Советского Союза создание подвижного резерва имеет очень большое значение и позволит несколько смягчить нехватку резервной трансформаторной мощности. В ближайшие же годы необходимо освоить такие трансформаторы и наладить их серийный выпуск.

**Трансформаторы с заполнением негорючей жидкостью.** Потребность в трансформаторах, залитых негорючей и невзрывающейся жидкостью, сильно

возросла в последние годы. Эти трансформаторы нужны для шахт, Дворца Советов, метро и многих других целей.

В Америке с 1932 по 1937 г. включительно было выпущено заполненных такой негорючей жидкостью (пиранол) свыше 1400 трансформаторов мощностью от 1,5 до 10 000 kVA в единице и общую мощность более 400 000 kVA [6]. Эксплуатация этих трансформаторов продемонстрировала стабильность свойств жидкости, длительную высокую диэлектрическую крепость и неподверженность окислению.

Подобная жидкость была разработана также в Германии (клофен) и применена для трансформаторов.

В 1935 г. в ВЭИ была также разработана негорючая жидкость, которая получила название совола.

Было найдено возможным применить эту жидкость для трансформаторов при добавлении в нее некоторого количества трихлорбензола для понижения вязкости.

В 1938 г. в трансформаторной лаборатории ВЭИ было проведено глубокое исследование электрической прочности этой смеси при 50 Hz и импульсах; были даны рекомендации по выбору изоляционных расстояний в трансформаторах 6—10 kV, заполненных смесью совола с трихлорбензолом.

В 1938 г. МТЗ выпустил первый трансформатор, заполненный этой смесью. Однако для широкого внедрения соволовых трансформаторов в настоящее время не уделяется должного внимания, в результате чего ни на одном из заводов не поставлено промышленного производства совола и трихлорбензола, исследовательские работы из-за отсутствия смеси значительно тормозятся, а МТЗ собирается выпустить в 1939 г. лишь несколько штук соволовых трансформаторов, причем никакой подготовки к производству соволовых трансформаторов по существу не ведется.

В третьей пятилетке перед советским трансформаторостроением стоит неотложная задача — наладить массовый выпуск соволовых трансформаторов и обеспечить этими трансформаторами казны Дворца Советов, шахт, метро.

**Испытательные трансформаторы.** Сильное развитие мощных высоковольтных энергосистем в годы первых двух сталинских пятилеток, повышение требований к бесперебойности электроснабжения (удовлетворить которые возможно лишь в высокой культуре эксплуатации электроустановок) вызвали необходимость в большом числе лабораторных установок высокого напряжения. Удовлетворение же потребностей в высоковольтных испытательных трансформаторах, являющихся основным оборудованием высоковольтных лабораторий, находится в настоящее время на весьма низком уровне. Количество выпущенных МТЗ испытательных трансформаторов насчитывается лишь единицами.

Между разработкой чертежей и выпуском трансформаторов зачастую проходит несколько лет. Выпускаемые конструкции к моменту выпуска являются уже несколько устаревшими.

Это имело место с выпуском испытательного трансформатора на 300 kV, получившегося необычайно громоздким и тяжелым.

1938 г. МТЗ, учтя опыт постройки трансформатора 300 kV, а также широко использовав результаты научно-исследовательских работ трансформаторной лаборатории ВЭИ по перенапряжениям в испытательных трансформаторах и по электрической прочности изоляции, выпустил испытательный трансформатор на 500 kV мощностью 1000 kVA. Этот трансформатор представляет собой три элемента каскада на 1500 kV [7].

Полный вес трансформатора на 500 kV составил 29,5 т. Его полная высота — 6400 мм, размеры в плане — 2900 × 2785 мм.

Однако на сегодня эти габариты и веса являются достаточно большими и требуется дальнейшая работа по получению более совершенных и более легких испытательных трансформаторов, тем более что в последнее время такие более легкие конструкции за границей разработаны и изготовлены. Например, в марте 1938 г. сообщалось [8] об изготовлении испытательного трансформатора 1000 kV мощностью 500 kVA, весом в 10 т.

Дальнейшее развитие высоковольтных лабораторий, особенно в связи с исследованиями изоляции трансформаторов и аппаратуры на 350—400 kV в Куйбышевском гидроузле, ставит вопрос о стройке испытательного каскадного трансформатора на 2—2,2 млн. В при напряжении элемента 700—750 kV.

Таким образом одной из задач трансформаторостроения в третьей пятилетке является ликвидация пропорции между потребностью в испытательных трансформаторах и удовлетворением ее выходом этих трансформаторов на напряжения от 10 до 2200 kV.

**Измерительные трансформаторы.** МТЗ освоено производство современных конструкций каскадных трансформаторов напряжения с фарфоровыми кожухами на напряжение 110—220 kV. Необходимо дальнейшее совершенствование этих конструкций, повышение электрической прочности их и уменьшении габаритов. Количество выпускаемых измерительных трансформаторов весьма ограничено и совершенно не покрывает потребности электрохозяйства. В третьей пятилетке МТЗ должно резко увеличить выпуск измерительных трансформаторов.

Кроме того, необходимо спроектировать и изготовить образец каскадного трансформатора напряжения для Куйбышевских ГЭС (350—400 kV). Для напряжения 350—400 kV должен быть так разрешен вопрос о применении емкостных делителей для целей измерения напряжения, что бы не оказалось более надежным и рентабельным. Освоение напряжения 350—400 kV. В связи со строительством Куйбышевских гидроэлектростанций развернулись работы по проектированию линий электропередач из Куйбышева в Москву и другие промышленные центры Союза.

Как выясняется, предполагаемая передача больших мощностей на столь большие расстояния требует применения напряжения 350—400 kV. Подобное напряжение еще нигде не применялось. Наибольшее освоенное за границей к настоящему времени напряжение — 287 kV (США линия пещеры Болдер-Дам — Лос-Анжелос). Трансформаторы, построенные на это напряжение, имеют следующие данные. Повысительные: однофазные не-

резонирующие трансформаторы стержневого типа (защита по системе щита), мощность единицы — 55 000 kVA, напряжение — 16,3/287,5 kV, реактанс — 10,7%, испытательное напряжение — 575 kV<sub>eff</sub>, полный вес — 161,2 т, высота от поверхности рельсов до верхушки бушинга — 9650 мм, размеры в плане 3410 × 6050 мм, охлаждение водяное, к. п. д. — 99,45%, ток холостого хода — 2,93%. Понижительные: однофазные автотрансформаторы броневого типа, мощность единицы — 65 000 kVA, напряжение — 275/132 kV, реактанс — 8,4%, испытательное напряжение — 577 kV<sub>eff</sub>, полный вес — 168,2 т, высота от поверхности рельсов до верхушки бушинга — 10 870 мм, размеры в плане — 3735 × 7115 мм, охлаждение — дутьевое, к. п. д. — 99,46%, третичная обмотка рассчитана на напряжение 13,2 kV и мощность 16 000 kVA.

Возможность постройки таких трансформаторов была получена в результате большой исследовательской работы лабораторий фирм GEC и Westinghouse, строивших эти трансформаторы.

Первые эскизные проекты трансформаторов 380 kV были выполнены в 1932 г. трансформаторной лабораторией ВЭИ на мощность 37 000 kVA в фазе.

Большой опыт по постройке мощных высоковольтных трансформаторов, а также большие исследовательские работы по изоляции и перенапряжениям в трансформаторах, развернувшиеся в ВЭИ и МТЗ, позволили в 1937—1938 гг. выполнить ряд эскизных проектов трансформаторов на 400 kV мощностью 50 000, 67 000 и 83 000 kVA в фазе. Была применена советская система нерезонирующего трансформатора, показавшая ряд преимуществ. Спроектированы были также варианты автотрансформаторов на 400 kV.

В результате установлена техническая возможность постройки, перевозки и сборки таких трансформаторов.

Однако дальнейшая работа и выполнение рабочего проектирования трансформаторов 350—400 kV затормозились из-за невозможности получить на существующем лабораторном оборудовании необходимые экспериментальные данные по изоляции при изоляционных расстояниях, близких к намеченным в трансформаторах на 350—400 kV. Существующая лабораторная база в ВЭИ (импульсный генератор на 3000 kV, испытательный трансформатор на 1000 kV, масляный бак Ø 2,9 м, подъемное устройство на 2 т) совершенно недостаточна. Также и будущая высоковольтная лаборатория Ленинградского индустриального института ни по своим габаритам, ни по установке оборудования, ни по масляным бакам, ни по подъемным устройствам не в состоянии обеспечить весьма большой объем работ по исследованию изоляции трансформаторов и аппаратуры для Куйбышевского гидроузла, несмотря на относительно большую величину запроектированного импульсного и 50-периодного напряжения.

В третьей пятилетке должно быть освоено производство турбин и гидрогенераторов для Куйбышевских станций. Освоение производства трансформаторов должно в соответствии с этим произойти в тот же срок. Таким образом первый образец трансформатора для Куйбышевской ГЭС

должен быть построен не позднее I—II квартала 1943 г. Эта задача ложится на МТЗ и ВЭИ. За период 1939—1942 гг. ВЭИ и МТЗ должны провести все предварительные исследования и разработки, вплоть до изготовления рабочих чертежей. Только незамедлительное развертывание работ по строительству нового высоковольтного зала при ВЭИ сделает вполне возможным в указанные сроки освоить производство трансформаторов для Куйбышева.

### Литература

1. Г. Н. Петров. Успехи мощного трансформаторостроения в СССР. „Электричество“ № 21, 1932.

2. Л. М. Шницер, Трансформаторостроение в СССР. „Электричество“ № 21, 1937.

3. Treanor, The Wound-Core Distribution Transformer. E. Eng. № 11, 1938.

4. Vogel, Filling Transformers Under Vacuum. El. Jour. № 8, 1938.

5. The Largest Mobile Transformer. El. Eng. № 14, 1938.

6. Bartlett, Developments in Electrical Industrie During 1937. GER № 1, 1938.

7. А. В. Сапожников. Советский испытательный трансформатор на 500 000 В. „Вестник электропромышленности“ № 8—9, 1938.

8. 10-t-Prüftransformator für ein Million Volt Betriebsspannung. AEG-Mitt. H. 3, 1938.

*Поступившие в редакцию и на Московский трансформаторный завод им. Куйбышева вскоре по выходе из печати журнала „Электричество“ № 12 за 1938 г., отклики уже вызывают, что опубликованные материалы о допустимой перегрузке трансформаторов вызвали живой интерес у работников энергосистем, проектных учреждений и т. д. Ряд организаций (Гипроазот, Гидроэнергопроект, Уралэнерго, Наркомхоз УССР и др.), озабоченные рациональным использованием как установленных, так и намеченных к установке трансформаторов, начинают решать вопросы, связанные с перегрузкой трансформаторов, на базе обоснованных расчетов и методики.*

*Напечатанная ниже статья инж. Б. П. Лебедева (Главэнерго) о нормировании перегрузки трансформаторов подводит итоги ранее опубликованным материалам по этой теме и достаточно исчерпывающе показывает, что энергосистемы могут использовать перегрузочную способность трансформаторов за счет возможностей годового графика нагрузки.*

*Нашим исследовательским институтам необходимо заняться углубленной разработкой мероприятий по повышению перегрузочной способности трансформаторов в особенности по улучшению их изоляции, что представляет большое значение для народного хозяйства.*

Редакция

## Нормирование перегрузки трансформаторов

**Б. П. ЛЕБЕДЕВ**

Главэнерго

**П**РАВИЛЬНОЕ определение возможности перегрузки трансформаторов с масляным охлаждением является в третьей пятилетке для электрохозяйства СССР одним из наиболее важных вопросов эксплуатации трансформаторов и, в частности, сохранения изоляции обмоток в течение нормального срока службы трансформаторов.

Вопрос этот не может быть решен только на основании эксплуатационного опыта, а требует более глубокой теоретической и экспериментальной разработки.

Следует отметить, что ни Энергетический институт Академии наук СССР, ни ВЭИ, которые должны, казалось бы, оказать помощь промышленности в решении такого серьезного вопроса, до сих пор этого не сделали. Московский трансформаторный завод им. Куйбышева (МТЗ), который требованиями жизни, запросами эксплуатирующих организаций, практикой ремонтов вынужден был подойти к разрешению поставленной задачи, в статье инж. Л. М. Шницера, опубликованной в № 1 журнала „Электричество“ за 1938 г., осветил качественную сторону явления старения изоляции, но не дал по существу конкретного ответа на вопрос о допустимых перегрузках трансформаторов, несколько, может быть, «напугав» отдельных работников эксплуатации приво-

димыми данными о краткости срока службы трансформаторов при перегрузках.

Далее со всей очевидностью выявилась необходимость осветить количественную сторону вопроса, дать величины износа изоляции трансформатора в зависимости от температуры окружающего воздуха и увеличения износа при нагрузках выше номинальной. В результате, в середине 1938 г. МТЗ был получен проект инструкции, опубликованный заводом в журнале „Электричество“ № 12 за 1938 г. Этим завод сделал шаг вперед, но не довел дело до конца, предоставив побителям самим «выбрать себе подходящий издатель» и решать вопрос для каждого отдельного случая.

Совещание, проведенное в Главэнерго с представителями завода, консультация с участием проф. Г. Н. Петрова и инж. Л. М. Шницера, представившего ряд дополнительных данных, а также ранее опубликованные в „Электричестве“ материалы вместе с проектом инструкции МТЗ это позволило подойти к решению, предоставляющему возможность определения износа изоляции трансформаторов и величин допустимых перегрузок.

Напомним основные данные, приведенные в МТЗ (табл. 1, рис. 1 и 2). Приводим дополнительные данные, полученные от инж. Л. М. Шни-

Таблица 1  
мальная продолжительность нагрузки, рассматриваемая как длительная

мощность трансформатора, kVA	5—30	50—180	240—1000	1350—5600	7500 и выше
длительность нагрузки, мин.	6	8	10	12	15

Таблица 2

(в часах и минутах), необходимое для охлаждения трансформаторов от установившейся температуры, соответствующей номинальной нагрузке, до установившейся температуры, соответствующей различным состояниям

Мощность трансформатора, kVA	Выключенное состояние	Холодный ход	Нагрузка 25%	Нагрузка 50%	Нагрузка 75%	Нагрузка 90%
5—30	6	5—40	5—30	5—20	4—30	3—30
50—180	8	7—30	7—20	7	6	4—30
240—1000	10	9—30	9—20	9	7—30	5—30
1350—5600	12	11—20	11	10—30	9	6—30
7500 и выше	15	14	13—40	13	11	8

при частичном снижении нагрузки против нормальной нагрев масла в трансформаторе снижается практически до установившегося состояния в сроки, указанные в табл. 2.

Приводим некоторые, представляющие интерес по вопросам срока службы и перегрузки трансформаторов с масляным охлаждением, опубликованные в иностранной периодической литературе.

№ 1 «Electrical Engineering» за 1938 г. Montsinger в статье о температурных пределах при кратковременных перегрузках, для масляных реакторов и заземляющих трансформаторов вновь приводит полученные расчетным пу-

тем данные о сроке службы бумажной изоляции при различных температурах.

Подсчитано по формуле  $Y = 7,15 \cdot 10^4 \cdot t^{-0,088X}$  где  $Y$  — годы (срок службы изоляции),  $X$  — тем-

Таблица 4

Температура (в °C)	90	95	100	105
Срок службы изоляции (годы)	26	17	11	7

пература в °C. Montsinger указывает, что «величина износа (старения — aging) удваивается на каждые 8° C возрастания температуры и соответственно уменьшается вдвое на каждые 8° C снижения температуры».

На основании испытаний, проведенных на образцах проводника размерами 0,4 × 0,44" с толщиной бумажной изоляции 0,021" на обе стороны, Montsinger считает безопасной для бумажной изоляции температуру 160° C в течение одной минуты.

В журнале «Electrical Times» (7 июля 1938 г.) инж. Henniker приводит данные английского стандарта № 171 1936 г. о перегрузке трансформаторов. По указанному стандарту при температуре воздуха 25° C для трансформаторов всех мощностей при напряжении до 110 kV и выше, находящихся в нагретом состоянии (очевидно, под нагрузкой), допускаются длительные перегрузки в 10%.

При тех же условиях двухчасовые перегрузки допускаются от 18 до 23% и получасовые перегрузки — от 30 до 46%, в зависимости от мощности и рабочего напряжения трансформатора<sup>1</sup>. Следует учесть, что по тому же стандарту при номинальной нагрузке трансформатора, превыше-

<sup>1</sup> Очевидно, что за это время температура успевает только достигнуть верхних допустимых пределов (или величины, близкой к ним).

Таблица 3

ежемесячный процент износа изоляции при непрерывной номинальной нагрузке, данный для каждого месяца года по климатическим поясам

Климатический район со средней максимальной температурой (в °C)	Род установки трансформатора	М е с я ц г о д а												Суммарн. износ за год, %	Срок службы трансформатора (годы)
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
30	Наружная . . .	0,08	0,09	0,11	0,26	0,43	0,83	1,03	0,83	0,76	0,22	0,13	0,096	4,9	20,4
35	" . . .	0,1	0,11	0,17	0,37	0,76	1,03	1,23	1,09	0,65	0,38	0,21	0,13	6,23	16
40	" . . .	0,325	0,33	0,51	0,78	1,3	1,85	2,28	2,30	1,55	1,04	0,56	0,35	13,15	7,6
30	В неотапливаемом	0,16	0,18	0,22	0,52	0,86	1,66	2,06	1,66	1,52	0,44	0,26	0,192	9,8	10,2
35	вентилируемом . .	0,2	0,22	0,34	0,74	1,52	2,06	2,46	2,18	1,3	0,76	0,42	0,26	12,46	8
40	помещении . . .	0,65	0,66	1,02	1,56	2,6	2,7	4,56	4,6	3,1	2,08	1,12	0,7	26,3	3,8
темпер. 20 °C	В помещении с пост. температурой 20 °C . . . . .	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	18	5,5

Примечание. Подсчитано по данным метеослужб: для Архангельска (пояс 30° C), Москвы (пояс 35° C) и Тбилиси (пояс 40° C).

ния температуры (над температурой воздуха) не должны быть больше  $50^{\circ}\text{C}$  для масла и  $60^{\circ}\text{C}$  для обмоток (МТЗ же рассчитывает трансформаторы на превышение температуры обмотки в  $70^{\circ}\text{C}$ ).

В январском номере «Factory Management and Maintenance» за 1938 г. R. L. Brown (Westinghouse El. and Man-ng Co) высказывает следующие соображения о целесообразном сроке службы трансформаторов.

С развитием техники величина потерь в железе трансформаторов непрерывно снижается. За время с 1910 по 1936 г. эта величина уменьшилась примерно на 43% (рис. 4). У старых трансформаторов часто целесообразно заменить железо на новое. Уменьшение потерь в железе снизит нагрев трансформатора при номинальной нагрузке или позволит увеличить его номинальную мощность. Если при этом изоляция обмоток находится в удовлетворительном состоянии, больше будет уверенности в надежности трансформатора при перегрузках.

Таблица 5

Примерные стоимости основных частей силового трансформатора в процентах к стоимости новой единицы

Сердечник и обмотки (в собранном виде)	70
Сердечник (железо)	25
Обмотки с изоляцией (в собранном виде)	40
Бак, крышка и пр.	30

R. L. Brown считает трансформаторы устаревшими примерно через 15 лет и рекомендует для всех трансформаторов со сроком службы свыше 15 лет произвести экономический подсчет целесообразности замены устаревших частей (в частности железа) с точки зрения уменьшения потерь и удлинения срока службы трансформатора.

В № 9 «Electrical Engineering» за 1938 г. Woodrow (Philadelphia El. Co) освещает вопрос об определении температуры воздуха, при которой допустимы перегрузки трансформаторов.

Благодаря возрастающим требованиям более полного использования капитальных затрат вопрос о перегрузке трансформаторов на основе

использования изменений температуры воздуха стал серьезной инженерной проблемой.

Предельные температуры для обмоток могут быть установлены из известного соотношения между температурой и сроком службы изоляции. Основная трудность состоит в определении величин температуры воздуха, которые можно положить в основу подсчета перегрузочной способности трансформаторов.

Практически невозможно менять нагрузку трансформаторов, следуя суточным колебаниям температуры воздуха и выдерживая в то же время какой-то определенный график нагрузки. Поэтому Woodrow применяет для подсчетов метод средних эквивалентных температур. Пользуясь данными Бюро погоды США за 47 лет, он выводит средние температуры, на основании которых можно определить величины нагрузок трансформаторов для каждого месяца (периода) года. При этом влияние их на срок службы трансформаторов будет таким же, как и действительных температур окружающего воздуха за рассматриваемый период (эквивалентным).

Подходя к обобщению ранее опубликованных и изложенного в настоящей статье материала можно сделать определенные выводы.

Неограниченная по времени перегрузка трансформаторов за счет понижения температуры окружающего воздуха ( $1\%$  на  $1^{\circ}\text{C}$ , начиная с  $35^{\circ}\text{C}$ ) приводит к тому, что температура обмотки будет постоянно держаться близко к ее нормальному допустимому пределу, что приведет к ускоренному старению изоляции.

Данные о длительности срока службы буриной изоляции трансформаторов при температуре  $105^{\circ}\text{C}$  (максимальная допустимая температура обмотки по ГОСТ 2524) расходятся (Nicols 1,25 лет, Montsinger 7 лет, МТЗ 2—3 года), но, очевидно, что срок этот будет незначителен — единицы лет. Отдельные случаи быстрого (через несколько лет после установки) старения изоляции трансформаторов, подвергавшихся длительным перегрузкам, это подтверждают.

Сокращение естественного срока службы трансформаторов МТЗ 16 лет при постоянной нагрузке в поясе  $35^{\circ}\text{C}$  безусловно недопустимо.

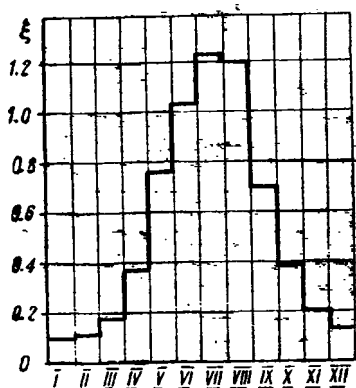


Рис. 1. Естественный процент износа при непрерывной номинальной нагрузке по месяцам года для трансформаторов наружной установки в средней полосе (Москва)

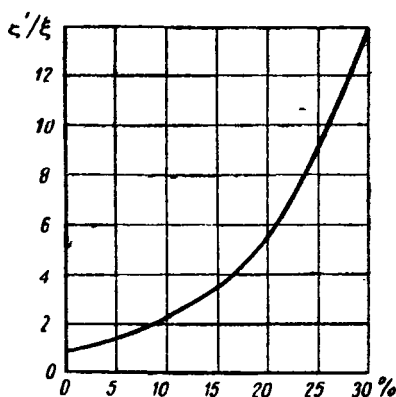


Рис. 2. Увеличение естественного процента износа при перегрузках за счет сезонного понижения температуры воздуха

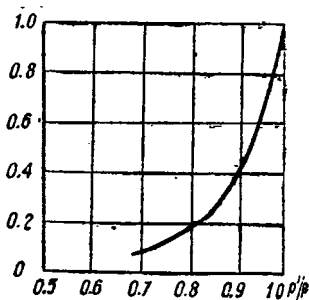


Рис. 3. Изменение величины естественного износа изоляции трансформаторов при нагрузках ниже номинальной

$\frac{\xi'}{\xi}$  — отношение процента износа при нагрузке  $P'$  (ниже номинальной) к естественному проценту износа при номинальной нагрузке  $P$ . Подсчитано для длительных недогрузок по формуле  $\frac{\xi'}{\xi} = e^{-\alpha P'}$ , где  $\alpha = 0,003$ ;  $\beta = 0,93$ ;  $P$  — % нагрузки



, если принять методику подсчета износа (я) изоляции, предложенную МТЗ, допустительные перегрузки трансформаторов (понижении температуры окружающего воз- можно только за счет фактически имеющего неполного использования установленной сти трансформаторов, зная режим работы орматоров и с учетом дополнительного рвные перегрузки) износа изоляции.

в начале 1938 г. коэффициент использования вленной мощности трансформаторов  $K$  со- ял в среднем 0,7. Эта величина подсчитана едениям о загрузке 720 трансформаторов стемам Мосэнерго, Донэнерго и Ленэнерго ом максимальных нагрузок трансформато- и колебаний суточного графика энергосисте- в целом с отношением средней суточной на- ки к максимальной равным 0,91. Имея непре- рывный рост числа часов использования установ- ной мощности в СССР по годам, можно олагать, что за 1938 г. коэффициент этот не- ко увеличился. Наиболее загруженными ываются понизительные подстанционные трансформаторы и несколько менее загруженны- станционные трансформаторы (повысительные собственного расхода). Для фабрично-заводских трансформаторов, не находящихся в ведении россистем, нет оснований считать величину  $K$  шшей.

Принимая во внимание возможность недоучета ельных эксплуатационных факторов (специ- ность отдельных потребителей, аварийные згрузки, недостаточно точный контроль за ружкой трансформаторов, установленных на станциях без постоянного дежурного персо- а и т. д.) при подсчете величины допустимых згрузок трансформаторов, коэффициент  $K$  сле- т принять равным в среднем 0,8, т. е. число ов использования установленной трансформа- кой мощности равным 7000 h в год.

При этом величина естественного износа полу- пся  $6,23 \times 0,8 = 4,99\%$  в год, т. е. средний ж службы трансформатора равен 20 годам.

Считать величину износа по кривой рис. 3 (при ружке 0,8 ном. —  $\frac{\xi'}{\xi} = 0,2$ ) было бы непра- енным, так как  $K = 0,8$  величина среднегодо- ывающая график нагрузки с его еже- енными пиками и снижениями, и не означает оянной работы трансформатора с неполной ружкой, равной 0,8 номинальной. Вообще ызваться данными кривой рис. 3 (как считает нж. Шницер) можно при длительной работе ружкой ниже номинальной, но никак не для ысового» учета износа изоляции.

Мы считаем, что при современном уровне раз- ия техники, можно допускать длительные пе- ружки трансформаторов при понижении тем- пературы воздуха (ниже максимальной расчетной  $35^\circ\text{C}$ ) за счет фактически имеющего место ьзования трансформаторной мощности с ко- эциентом  $K = 0,8$ , не повышая процент износа е естественного.

Таким образом как следствие длительных пере- озок может быть допущен износ максимум  $9\%$  в год.

Как вести для каждого трансформатора

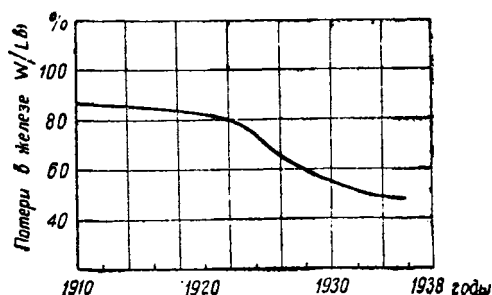


Рис. 4. Относительное изменение величин потерь в железе (с 1910 по 1936 г.)

подсчет износа на основании графиков нагрузки и местных климатических условий, а также опре- делять для каждого отдельного случая допусти- мые длительность и величину перегрузок экс- плоатирующим организациям будет затрудни- тельно, то нужно дать общий метод определения допустимых длительных перегрузок в зависимо- сти от температуры воздуха.

По нашему мнению наиболее рациональным и практически удобным является следующий метод подсчета: трансформатор может получить  $1,24\%$  дополнительного (за счет перегрузок) износа при самых различных условиях. Так, если мы пере- грузим трансформатор на  $30\%$  в течение всего января, мы получим дополнительный износ  $1,24\%$ . Если же нам нужно перегрузить трансформатор в течение всего июня, то  $1,24\%$  дополнительного износа мы получим, допустив перегрузку все- го  $9\%$ . При непрерывной перегрузке на  $30\%$  в июне, тот же износ  $1,24\%$  будет получен через 3 дня. Очевидно, что равные длительности (день, час) одинаковых по величине перегрузок не рав- ноценны (по величине вызываемого износа изо- ляции) в разные времена года.

Поэтому, задавшись определенной общей дли- тельностью допустимой перегрузки, например 1 месяц (720 h) в год, определим допустимый процент перегрузки для каждого месяца года, с тем чтобы суммарная величина износа вслед- ствие перегрузки не превосходила  $1,24\%$ . Поль- зуясь кривыми рис. 1 и 2 (и округляя десятые доли процента перегрузки), получим табл. 6.

Таблица 6

Допустимые длительные перегрузки в процентах для трансформаторов, установленных на открытом воздухе

Месяц года	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Допустимый % пере- грузки	30	29	24	17	11	9	8	9	12	17	22	27

При перегрузках по табл. 6 каждый отрезок времени, в течение которого допускается пере- грузка, эквивалентен по величине вызываемого дополнительного износа любому другому равному по длительности. Один месяц или час перегрузки на  $30\%$  в январе эквивалентен 1 месяцу (или соответственно часу) перегрузки на  $29\%$  в феврале, на  $24\%$  в марте, на  $17\%$  в апреле и т. д. Поэтому принятая суммарная длительность перегрузки (1 месяц) может быть распределена любыми про-



Допустимые перегрузки трансформаторов в аварийных случаях

Величина перегрузки	60%	75%	100%
Допустимое время . . . . .	Не более 45 min	Не более 20 min	Не более 10 min

межутками времени (подряд или вразбивку) в течение года и не приведет к сокращению естественного срока службы трансформатора, если величины перегрузок не будут превосходить величин, указанных для каждого месяца года в табл. 6. Перегрузка может быть допущена в любое время года в размере 1% на 1° С понижения температуры воздуха ниже 35° С, но не выше величин, указанных в табл. 6. Во всех случаях величина дополнительного (вследствие перегрузки) износа не превысит 1,24%.

Так как измерительные приборы могут допускать некоторую погрешность и считаясь с тем, что отдельные точки обмотки трансформатора при номинальной нагрузке и температуре окружающего воздуха 35° С могут иметь повышенный нагрев (до 110—111° С) против средней температуры 105° С (при расчете перегрев обмотки принимается 70° С), допускать длительные перегрузки следует, начиная с температуры 30° С.

В отношении определения суммарной длительности допускаемой перегрузки нужно учесть, что время прохождения максимума нагрузки (пика) в энергосистемах менее 6 час. и что максимум нагрузки, а также наиболее вероятная необходимость перегрузок приходится на зимнее время, когда величина естественного износа сравнительно невелика. Нужно учесть, кроме того, что значительные допустимые в зимнее время перегрузки (27—30%) не будут во многих случаях полностью использованы и что теперь установлены единые, твердые сроки осмотров и ревизий трансформаторов, обеспечивающие регулярную проверку изоляции. Принимая во внимание стремление к максимальному использованию наличной трансформаторной мощности в настоящее время и то, что к концу третьей пятилетки намечено «создание в промышленных районах постоянного энергетического резерва мощностью в 10—15%» [из резолюции по докладу тов. Молотова на XVIII съезде ВКП(б)], мы считаем, что на ближайшие 3—4 года общая длительность перегрузок при понижении температуры воздуха ниже 30° С может быть допущена до 1000 h в год.

Перегрузки эти должны учитываться в оперативном журнале, в эксплуатационной карте трансформатора или в специальной ведомости.

В части кратковременных, аварийных перегрузок трансформаторов можно согласиться с величинами, предлагаемыми МТЗ.

Длительность аварийных перегрузок подсчитана заводом из расчета того, что температура обмоток достигает предела в 160° С. При этом длительность перегрузок получается несколько большей, чем практически может понадобиться в эксплуатации (например при внезапном отключении параллельно работающего трансформатора). Величины нагрузок, предлагаемые МТЗ (табл. 7), после обсуждения с Главэнерго приведены в соответствии с требованиями эксплуатации.

В самом деле, при двух параллельно работающих, полностью загруженных трансформаторах в случае отключения одного из них второй может быть разгружен дежурным персоналом снижением нагрузки на генераторах (на станции) или отключением части абонентов (на подстанции) при сохранении питания ответственных потреби-

телей. Срок 10 min для этого вполне достаточен. При выходе одного из трех параллельно работающих трансформаторов отключившийся трансформатор может быть осмотрен, проверен и выведен (в случае отключения без повреждений) в срок 45 min, или могут быть разгружены оставшиеся в работе трансформаторы.

Все приведенные данные о перегрузках относятся к трансформаторам, установленным в средней полосе СССР со средней максимальной температурой 35° С.

Для определения возможности перегрузки трансформаторов, установленных в различных средних климатических поясах, трансформаторы должны быть перемаркированы в соответствии с средней максимальной температурой<sup>2</sup> той местности, где они установлены, так как нормы трансформаторов рассчитываются на максимальную температуру окружающего воздуха в 35° С. Тогда величины допускаемых перегрузок должны быть отнесены к перемаркированной мощности.

Ясно, что для местностей с жарким климатом величины допускаемых перегрузок должны быть меньше, а для местностей с холодным климатом — больше, чем для средней полосы. Перемаркировку можно провести по двум климатическим поясам — 30° С и 40° С. Номинальная мощность трансформатора в поясе 30° С —  $P_{30} = 1,05 P_{35}$ . Номинальная мощность трансформатора в 40° С —  $P_{40} = 0,9 P_{35}$ . При этом величины естественного износа и сроки службы трансформаторов (при постоянной номинальной нагрузке) будут близкими к величинам для трансформаторов, установленных в поясе 35° С.

Более широкое дробление по поясам нецелесообразно, так как по полученным от Центрального института погоды сведениям в большей территории СССР средние максимальные температуры лежат в пределах 30—40° С или близки к ним. Например, Мурманск, где средняя максимальная температура равна 29,2° С может быть отнесен к поясу 30° С. Сталинград, где средняя максимальная температура равна 41° С, может быть отнесен к поясу 40° С. Новосибирск, где средняя максимальная температура равна 35° С, может быть отнесен к поясу 35° С.

**Выводы.** На основании изложенных выше соображений можно сделать следующие выводы: трансформаторы допускаемых перегрузок для трансформаторов (установленных в поясе 35° С или перемаркированных):

7. Для трансформаторов, установленных в помещениях с постоянной температурой 20°

<sup>2</sup> Средняя величина абсолютных максимумов температуры за ряд лет.

ок допускать не следует ввиду значительных причин естественного износа.

Для трансформаторов, установленных в неотапливаемых, вентилируемых помещениях, независимо от сезонных изменений температуры окружающего воздуха, можно допускать кратковременные перегрузки в зависимости от предшествующей работы с длительной нагрузкой ниже номинальной. Величины и длительности этих перерывов определяются кривыми пункта 28 ОСТ 34.13.01 (что то же самое) подробными табличными составленными МТЗ для трансформаторов различных мощностей.

Для трансформаторов, установленных на открытом воздухе, кроме кратковременных перегрузок, в зависимости от предшествующей работы с длительной нагрузкой ниже номинальной можно допускать длительные перегрузки в зависимости от сезонных изменений температуры окружающего воздуха.

Перегрузка (работа с мощностью выше номинальной) может допускаться в размере 10% на каждый градус понижения температуры воздуха до 30° С. Перегрузки допускаются различные в зависимости от времени года. Максимальные величины допустимых длительных перегрузок даны в табл. 6.

Общая длительность перегрузок, допускаемых в зависимости от сезонного изменения температуры окружающего воздуха, должна учитываться для каждого трансформатора и не должна превышать 1000 ч в год.

Аварийные перегрузки по табл. 7 могут допускаться только для трансформаторов, установленных на станциях и подстанциях с постоянным дежурным персоналом и питающих ответственных потребителей. Трансформаторы, для которых допускаются подобные перегрузки, должны быть оборудованы соответствующим образом расщепленной защитой (см. противоаварийный циркуляр Минэнерго № 94).

5. Для трансформаторов старых (изношенных) или подвергающихся значительным перегрузкам вышеуказанные данные не могут быть полностью применимы, и величина и длительность допустимых перегрузок могут быть определены на основании подсчета износа и проверки фактического состояния изоляции или специальными испытаниями.

Для трансформаторов иностранных фирм допустимость перегрузок должна определяться на основании фирменных данных или специальными испытаниями.

6. В случае острой необходимости перегрузок сверх указанных выше величин вопрос должен быть решен в каждом отдельном случае в зависимости от режима работы трансформатора, состояния изоляции, важности питаемого объекта и других конкретных условий с учетом величины вызываемого перегрузкой дополнительного износа.

Трансформаторы нужно выбирать и эксплуатировать из расчета работы нормально без перегрузок.

Если же по условиям эксплуатации нужно идти на перегрузки, то последние должны быть нормированы так, чтобы не вызывать сокращения естественного срока службы трансформаторов. Технические возможности для этого имеются.

Работники трансформаторостроения должны добиваться технического совершенствования выпускаемых трансформаторов, сокращения потерь и всемерного улучшения свойств и повышения долговечности изоляции трансформаторов.

Наши научные организации должны совместно с электропромышленностью разрешить в ближайшее время ряд задач, связанных с работой трансформаторов, как, например, зависимость срока службы изоляции от температуры, улучшение изоляции и применение новых ее видов, консервация масла в трансформаторах, замер температуры обмоток под нагрузкой.

## Определение опасной степени старения изоляции трансформаторов

Ю. В. КОРИЦКИЙ

Москва

БЕЗРЕЗЕРВНОЕ снабжение электроэнергией в очень большой степени зависит от правильной безаварийной работы трансформаторов. Надежная работа же трансформаторов определяется состоянием их изоляции. Не сохранившаяся изоляция трансформаторов — в основном бумага и картон — механически достаточно прочна и эластична; механические нагрузки, имеющие место при нормальном режиме работы, или при форсированном — переключениях, коротких замыканиях, изоляция выдерживает без повреждений.

Опасность от старения волокнистой изоляции трансформаторов заключается в первую очередь в потере ее эластичности. Сильно состарившаяся изоляция становится очень хрупкой, что может растрескиваться, ломаться

под влиянием имеющих место в работе трансформатора вибраций и других механических усилий. Экспериментальные исследования старения волокнистой изоляции, работающей в масле, показывают, что ее электрическая прочность, без механических повреждений, остается достаточно большой даже в том случае, когда она полностью потеряла свою эластичность.

Ниже приведены для примера некоторые результаты определения электрической прочности волокнистой изоляции, прошедшей определенные режимы старения в трансформаторном масле. В табл. 1 даны результаты испытания картона ЭМ — сульфатцеллюлозный — и ЭМТ — триплексный — после старения в масле при 100—105° при очень сильном окислении масла.

Таблица 1

Образец картона	Толщина mm	Электрическая прочность после старения kV/mm			
		100 h		3 мес.	
		на равном месте	на изгибе	на равном месте	на изгибе *
ЭМ пропитанный лаком 1154 . . . . .	1,38	41,0	0	42,2	0
ЭМ непропитанный . . . . .	1,37	33,7	21,2	42,7	0
ЭМТ пропитанный лаком 1154 . . . . .	1,46	35,0	19,7	36,6	0
ЭМТ непропитанный . . . . .	1,38	40,2	22,5	42,4	0

\* Цифра 0 в графе „Электрическая прочность“ означает, что картон при изгибе сломался.

Пробой производился в масле при комнатной температуре плоскими электродами диаметром 50 mm.

Через 3 мес. старения картон полностью потерял свою эластичность: ломался при малейших изгибах, крошился, куски картона легко истирались в порошок. Все же электрическая прочность его в целых местах не уменьшилась. Картон, не пропитанный лаком, абсорбировал большое количество кислых продуктов старения масла, что было установлено по определению реакции его водной вытяжки (методом колориметрического определения концентрации водородных ионов водной вытяжки — PH). Исходные образцы имели величину PH: картон ЭМ — больше 7 (щелочная реакция), ЭМТ — 7,0 (реакция нейтральная). После старения 3 мес. обоих картонов реакция водной вытяжки стала кислой; величина PH: картона ЭМ — 4,8, ЭМТ — 3,6.

В табл. 2 даны результаты испытания на пробой образцов кабельной бумаги, прошедшей режим старения, проварки в трансформаторном масле и соволе. В табл. 3 даны результаты испытания тех же образцов на излом на фальцере Шомпера, очень хорошо характеризующий потерю эластичности бумаги. Как видно из этих таблиц, даже бумага, полностью потерявшая свою эластичность, после проварки в соволе при 125° в течение 840 h и в масле при 105° С 1440 h хорошо сохранила свою электрическую прочность как при низких, так и высоких температурах при мгновенном пробое — плавный подъем напряжения — и с выдержкой <sup>1</sup>.

Таблица 2

Режим старения при 105° С h	Среднее пробивное* напряжение при мгновенном пробое в kV при:			Пробивное напряжение* при „минутной“ методике в % от „мгновенного“ значения при:		
	25° С	50° С	100° С	25° С	50° С	100° С
<b>В соволе</b>						
72	—	3,5	3,3	—	50—80	60—90
1440	—	3,4	3,4	—	70—100	80—90
72	—	3,3	3,8	—	60—100	60—80
840	—	2,9	3,6	—	70—100	80—90
<b>В масле</b>						
72	3,5	—	4,3	70—110	—	70—100
1440	3,5	—	3,1	80—100	—	80—100

\* Пробой производился плоскими электродами диаметром 50 mm в той жидкости, в какой производилась проварка.

<sup>1</sup> „Минутная“ методика — выдержка 1 m при напряжении, равном 50% от „мгновенного“ пробивного, с последующим подъемом напряжения по 10% с выдержкой по 1 m на каждой ступени.

Хорошими показателями старения бумажной изоляции являются также вязкость медноаммиачного раствора маги, картона, которая падает при старении, и некоторые числа, которые увеличиваются при старении. Однако: характеристики сами по себе непосредственно не определяют еще хрупкости волокон. Кроме того, следует иметь в виду, что для определения степени старения волоконной изоляции по этим характеристикам надо знать их исходное значение, которое может сильно колебаться у разных партий бумаги одного и того же сорта.

При рассмотрении под микроскопом в проходящем свете нормально приготовленных препаратов из бумаги прошедшей разные стадии старения, мы заметили, что степень старения волокон определяется их разрушением укорочением при приготовлении препарата; это разрушение волокон особенно хорошо заметно при значительном удалении от места старения, представляющем известную опасность для работы трансформатора или другого аппарата.

Оказалось, что микроскопический анализ бумаги достаточно хорошо отражает старение ее при разных режимах.

Таблица 3

Режим старения h	Прочность на излом (число двойных перегибов)	
	вдоль хода машины	поперек хода машины
Исходное состояние в соволе . . . . .	1478	337
72 } 105° С . . . . .	1127	163
840 } . . . . .	137	37
1440 } . . . . .	30	14
72 } 125° С . . . . .	291	110
360 } . . . . .	0,5	*
840 } . . . . .	0	*
<b>В масле (105° С)</b>		
72 . . . . .	569	51
840 . . . . .	61	3
1440 . . . . .	10	0

\* Образцы, не выдерживающие напряжения пружины Фальцера в 1 kg.

В исходном состоянии мы видим цельные, ненарушенные волокна, по длине не помещающиеся в поле зрения микроскопа. После старения в соволе при 105°, 1440 h волокна сильно нарушены, в поле зрения почти нет целых, не поломанных, не укороченных волокон. После старения в соволе при 125°, 840 h, а также после старения в масле при 105°, 1440 h происходит полное разрушение волокон: в поле зрения имеются только отдельные рывки волокон, бумага стала „наощупь“ значительно хрупкой, в руках легко ломалась. Сопоставляя картину наблюдающуюся под микроскопом, с данными табл. 3, видим, что полной или почти полной потере эластичности соответствует полное разрушение волокна.

В табл. 4 даны результаты испытания на пробой катушек из обмоточного провода с бумажной изоляцией, прошедших старение в масле, подтверждающее вышеизложенное о влиянии старения бумажной изоляции пропитанной лаком № 1154 и непропитанной, на ее электрическую прочность.

При сматывании провода с катушек, прошедших старения, имеет место растрескивание изоляции, снижающее ее пробивное напряжение. В табл. 5 даны результаты механических испытаний кабельной бумаги толщ. 0,12 mm, прошедшей такие же режимы старения, как катушки, результаты испытания которых даны в табл. 4.

Данные табл. 5 показывают, что изменение прочности на разрыв является менее чувствительным показателем старения бумаги, чем прочность на излом и на проламывание.

Наблюдения в микроскопе показали, что после старения 24 h при 150°, когда непропитанная изоляция потеряла эластичность примерно в 2 раза (по излому и

ванию), количество коротких разрушенных волокон в образце было около 15%; через 72 h оно увеличилось до 20%. При этом образцы стали очень хрупкими «на пальцах», легко ломались в руках; по данным табл. 5 они полностью потеряли свою эластичность; в микроскопе наблюдается сильное разрушение волокна. Метод из общезвестных методов определения старения бумажной изоляции не пригоден для определения степени старения изоляции обмоток трансформаторов, в чем имеется насущная необходимость при ремонте трансформаторов и планово-предупредительном обслуживании их. Все механические методы требуют определения формы образца, который не может быть получен из изоляции провода вообще, не говоря уже о работе трансформатора. Физико-химические методы — определение вязкости медноаммиачного раствора бумаги и ее

Режим	Разрывная груз kg	Растяжимость %	Прочность на излом (число двойных перегибов)	Сопротивление продавливанию kV
105° 24 h непропитанный	12,1	2,6	1885,0	3,2
105° 24 h пропитанный . .	17,0	2,8	7,0	4,8
150° 24 h непропитанный	9,2	1,8	734,0	1,8
150° 24 h пропитанный . .	13,2	2,0	0,5	2,5
150° 72 h непропитанный	5,7	1,2	0,5	1,2
150° 72 h пропитанный . .	7,5	1,3	0	1,5

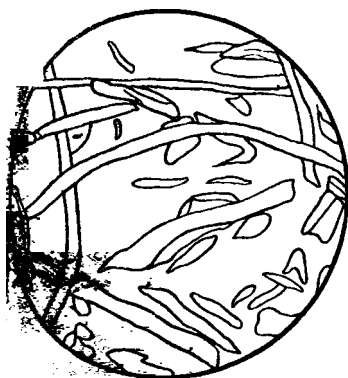


Рис. 1

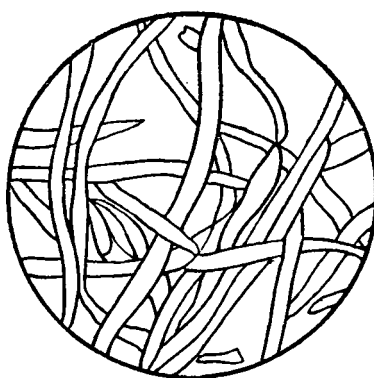


Рис. 2а



Рис. 2б

этого числа, помимо отмеченных выше неудобств, требует для получения необходимой навески бумаги снятия изоляции с довольно большого участка провода. Измерение  $\tan \delta$ , который обычно очень хорошо определяет степень старения изоляции, в данном случае ничего не дает, так как его величина для бумаги, пропитанной маслом, зависит в основном не от состояния волокна, а от степени окисления масла. Загрузка специальных, контактных образцов бумажной изоляции, которые можно было бы исследовать при ревизии трансформаторов, ничего не дает, так как условия их старения будут сильно отличаться от старения изоляции обмоток, которые перегреваются при перегрузках, когда масло может и не иметь своей температуры.

Каждому тем все энергообъединения испытывают в настоящее время острую нужду в таком методе определения состояния изоляции обмоток трансформаторов, который позволил бы без нарушения целостности изоляции установить, в каком состоянии изоляция опасным для дальней-

шей работы трансформатора или нет. Известна попытка Донэнерго разработать особую шкалу состояния изоляции, определяемого следующим образом: категория 1 — изоляция эластичная и мягкая; 2 — изоляция сухая, но прочная (без трещин), отделяется с трудом с помощью острого ножа, при нажатии трещин не дает; 3 — изоляция сухая, отделяется легко от постукивания или надавливания; категория 4 — изоляция осыпается, имеются оголенные витки и трещины на изоляции. Состояние изоляции определяется исключительно наружным осмотром. Изоляция категории 3 уже ненадежна, при изоляции категории 4 требуется немедленная замена обмотки. Понятно, методика Донэнерго определения опасной степени старения изоляции обмоток трансформаторов груба и примитивна; кроме того, она отличается большой субъективностью.

На основании работ, проведенных в бывшей центральной лаборатории Электроставского завода (ныне лаборатория завода АТЭ-1), некоторые результаты которых приведены выше, мы считаем, что опасное состояние изоляции обмоток трансформаторов при их ревизии может быть определено микроскопическим методом. Для этого необходим ничтожный образец изоляции площадью меньше 10 мм<sup>2</sup>, толщиной в один слой бумаги. Такие образцы могут быть срезаны с ряда мест изоляции трансформатора без малейшего ослабления ее. Приготовление препарата и рассмотрение его под микроскопом (достаточно увеличение 75—100 раз) являются весьма простой операцией, с которой легко справится персонал, производящий ревизию трансформаторов. Для отнесения степени старения изоляции данного трансформатора к той или иной категории можно иметь стандартные, эталонные микрофотографии.

Для состояния изоляции можно установить четыре категории: 1 — цельность волокон не нарушена — исходная или очень мало работавшая изоляция; 2 — цельность волокон слабо нарушена — изоляция мало состарившаяся, вполне надежна для дальнейшей работы; 3 — цельность волокон сильно нарушена — изоляция сильно состарившаяся, ненадежная для дальнейшей работы, могущая «сдаться» при усиленных механических нагрузках; 4 — цельность волокон полностью нарушена — изоляция не пригодна для дальнейшей работы.

Предлагаемый нами микроскопический метод определения состояния волокнистой изоляции требует уточнения на основании опытного изучения его в системах энергообъединений.

Таблица 4

Характер испытания	Среднее пробивное напряжение в kV после разных режимов старения в масле							
	24 h 105° C		24 h 150° C		72 h 150° C		96 h 150° C	
	непропитанный	пропитанный	непропитанный	пропитанный	непропитанный	пропитанный	непропитанный	пропитанный
ду секциями катушки . . . . .	10,8	11,4	11,5	9,6	11,0	9,9	10,4	11,4
смотанный и выпрямленный . . . . .	5,6	4,7	5,0	4,2	2,7	0	0,5	0
но загнутой стержня диаметром 50 мм . . . . .	5,6	—	4,1	—	2,4	—	0,3	—

На рис. 1 дана микрофотография бумажной изоляции верхней части обмотки высокого напряжения трансформатора ТМ 5600/35, работавшего в системе Азчерэнерго. Эта изоляция может быть отнесена к категории 3 — «целность волокна сильно нарушена», — изоляция не надежна. В нижней части обмотки изоляция была вполне надежна для дальнейшей работы.

На рис. 2а и 2б даны микрофотографии протиснутого экрана того же трансформатора. По рис. 2а картон вполне надежен для дальнейшей работы; это места экрана, бывшие под деревянной рейкой, светлые, на которых не осаждался шламм; при изгибе в руках они были доста-

точно эластичными. Рис. 2б показывает полное разрывание волокон. Изоляция непригодна для дальнейшей работы — категория 4; при изгибе в этих местах картон мал; он был столь хрупким, что легко истирался в порошок. Считаем не лишним отметить, что трансформатор, из которого взята была для исследования изоляция, проработал во время включения.

Приведенный пример с изоляцией трансформатора ТМ 5600/35 Азчерэнерго подтверждает целесообразность предлагаемой нами методики микроскопического обследования опасной степени старения изоляции обмоток трансформаторов.

## Отклики на статьи о перегрузке трансформаторов

Л. М. ШНИЦЕР

Московский трансформаторный завод им. Куйбышева

С НАЧАЛА января 1939 г. в редакцию и на Московский трансформаторный завод им. Куйбышева (МТЗ) поступают от различных заинтересованных организаций письма, являющиеся откликами на помещенные в журнале «Электричество» № 12 за 1938 г. материалы по вопросу о допустимой перегрузке трансформаторов.

В этих письмах уже нет тех недоуменных вопросов, какими некоторые работники эксплуатации реагировали на появившуюся в журнале «Электричество» № 1 за 1938 г. первую статью по этому вопросу. На этот раз поступающие отклики говорят о том, что на местах начинают практически решать конкретные вопросы по указанной в журнале «Электричество» методике, прикидывая различные возможные варианты и останавливаясь на наиболее приемлемом.

Так, одна южная энергосистема в течение 1938 г. неоднократно обращалась к заводу с запросами о допустимой перегрузке установленной группы трансформаторов. Поскольку эти запросы были лишены необходимой для расчетов конкретности, наши ответы неизбежно носили общий характер и не удовлетворяли энергосистему.

По появлении журнала «Электричество» № 12, 1938 г. энергосистема, пользуясь изложенной там методикой расчета, сама выбрала наиболее рациональный вариант перегрузки и с целью проверки правильности подхода к решению задачи представила свои варианты в МТЗ на рассмотрение.

Другая организация (проектирующая), получив климатический очерк района Ташкента и пользуясь той же методикой расчета, указала МТЗ на то, что предлагавшееся в нашей статье ранее снижение мощности намеченных для установки в этом районе стандартных трансформаторов преувеличено, с чем мы и согласились по ознакомлении с указанным климатическим очерком.

Одна энергосистема, располагающая значительным количеством крупных трансформаторов с принудительной циркуляцией масла, предполагает создать такой среднегодовой режим охлаждающей системы путем регулирования количества охлаждающей воды, чтобы поддерживать примерно постоянный допустимый уровень температуры обмотки при постоянной перегрузке. Вопрос свой эта энергосистема сводит лишь к следующему: каков должен быть режим охлаждающей системы? Вопрос — конкретный, и мы свои соображения дали.

Среди поступающих писем есть и такие, из которых видно, что некоторые частности, связанные с вопросом о перегрузке трансформаторов, еще не всем ясны.

Таковы вопросы:

1. Почему проект инструкции МТЗ обязывает при нагрузке трансформаторов не ниже номинальной держать дутье включенным даже при низких температурах окружающего воздуха?

2. Почему регулирование включения и выключения дутья в зависимости от нагрузки должно согласно инструкции производиться не по абсолютной температуре масла, а по перегреву его над воздухом?

Считаем целесообразным на этих двух вопросах несколько остановиться.

Точно так же, как трансформатор с естественным масляным охлаждением в предположении непрерывной (круг-

лосуточной и круглогодичной) работы при полной и максимальной нагрузке не должен подвергаться перегрузке (независимо от температуры окружающего воздуха, будь ли она  $+35^\circ$  или  $-35^\circ$ ), так и трансформатор с естественным охлаждением при условии непрерывной работы полной номинальной нагрузкой должен иметь включенным дутье независимо от температуры окружающего воздуха, как бы низка она ни была.

В том и другом случае при низких температурах дутья будут низки и температура масла (порядка  $30-40^\circ$ ) и температура меди (порядка  $50-55^\circ$ ). Это так и должно быть. Именно благодаря тому, что в холодные дни температура обмотки низка, срок службы трансформатора остается нормальным, несмотря на то, что в жаркие дни температура обмотки высока.

Если же при номинальной нагрузке в холодные дни дутье выключать, то температура обмотки будет высока и в эти дни, срок службы трансформатора соответственно сократится.

Дутье может оставаться постоянно включенным при нагрузке не выше 70% от номинальной. При нагрузке в размере 70% суммарные потери в трансформаторе (потери в меди таковы, что перегрев обмотки над воздухом составляет те же 70%, как при полной нагрузке и в холодном дутье).

При нагрузках ниже 100 и выше 70% дутье должно выключаться лишь кратковременно и оставаться выключенным до тех пор, пока перегрев обмотки не превышает  $70^\circ$  над воздухом. Как только этот предел достигнут, дутье должно снова включаться.

Из изложенного понятно, почему при регулярном включении и выключении дутья в зависимости от нагрузки нельзя принимать в качестве критерия абсолютную температуру масла, для которой невозможно установить постоянный минимум или максимум; температура обмотки должна обязательно измеряться. В качестве критерия и должно приниматься лишь превышение температуры обмотки над воздухом; это превышение не должно превышать  $70^\circ$ .

Поддерживая этот максимальный перегрев, мы одновременно используем полную мощность трансформатора и обеспечиваем естественное изменение температуры обмотки в течение каждого изменения, необходимое для сохранения нормального срока службы трансформатора.

Так как, однако, в условиях эксплуатации трудно осуществлять в любой момент измерение перегрева (ввиду временного отсутствия соответствующего тела), инструкция МТЗ предлагает пока принять в качестве критерия превышение температуры масла.

Этот последний критерий несовершенно. Дело в том, что нагревание масла происходит очень медленно, давая данную температуру масла, мы не можем сказать, что эта температура — установившаяся. При перегреве обмотки над маслом устанавливается перегрев — в течение 20—30 мин.

Перегрев масла можно принять за полноценный лишь в условиях постоянной, не изменяющейся нагрузки. Вопрос же о включении и выключении дутья встает именно для условий колеблющейся в пределах от 70 до 100% нагрузки.

# Концентраторы вихревых токов для зонального нагрева стальных изделий

Г. И. БАБАТ, М. Г. ЛОЗИНСКИЙ

Завод „Светлана“

*„Поверхностную закалку можно вводить в любом металле и это даст колоссальную экономию потребления металла, ибо увеличит срок службы инструментов, деталей и частей машин“.*

*Из речи тов. Л. М. Кагановича на XVIII съезде ВКП(б)*

**ИНДУКЦИОННЫЙ** нагрев стальных изделий в быстропеременных электромагнитных полях выходит в настоящее время широкое промышленное применение. Этот способ нагрева может применяться для отжига и нормализации стали, сварки, для поверхностного легирования, при механической обработке стали (резание, штамповка, ковка). Особое значение имеет индукционный нагрев для поверхностной закалки стали.

Основные преимущества этого метода повышения износостойкости деталей путем придания им поверхностной твердости, следующие: 1) почти полное отсутствие брака из-за коробления во время нагрева и закалки благодаря тому, что объем нагреваемого металла составляет незначительную часть от всего объема изделия; 2) огромная производительность высокочастотных закалочных установок, так как нагрев поверхностного слоя детали до температуры закалки происходит в течение нескольких секунд; 3) низкая стоимость обработки; 4) значительное улучшение условий труда.

Из сказанного видно, насколько велико значение этого метода для развития стахановских способностей работы в области термообработки стали.

В каждом отдельном случае требуется закалить только вполне определенные участки поверхности детали: в зубчатых колесах должна

быть закалена только их рабочая поверхность, в штампах — только режущая кромка и т. д. Поверхностная закалка большей частью является одновременно и зональной закалкой. Сравнительно меньшее количество деталей должно иметь сплошной мартенситовый слой на всей поверхности.

Нагревательный индуктор должен быть так выполнен, чтобы возбуждать вихревые токи только в подлежащих нагреву участках обрабатываемой детали. Следовательно, конфигурация нагревательного индуктора определяется формой закаливаемой части поверхности детали. Поэтому при конструировании установки для поверхностной закалки весьма важный этап — это определение формы нагревательного индуктора.

Аналитический расчет электромагнитных полей может быть более или менее точно выполнен только для самых простых форм индуктора, например, для случая, когда провод натянут над бесконечной плитой. Поэтому для нахождения распределения поверхностной плотности токов в случаях обработки деталей сложной конфигурации авторами совместно с инж. В. С. Лукошковым был разработан метод моделирования быстропеременных магнитных полей при помощи электролитической ванны.

Этот метод основан на следующих положениях:



Инженеры завода „Светлана“ Г. И. Бабат и М. Г. Лозинский у станка с 200 kW концентратором



При частотах порядка  $10^4$ — $10^6$  Hz, которые преимущественно применяются для индукционного нагрева при поверхностной закалке, длина электромагнитной волны в воздухе составляет  $30 \cdot 10^3 = 300$  м. Так как индукторы имеют в большинстве случаев максимальные размеры—десятки сантиметров, то вполне можно пренебречь излучением электромагнитной энергии в окружающее пространство, а также рассматривать индуктор как участок цепи с сосредоточенной самоиндукцией, т. е. считать, что фаза тока одинакова по всей длине индуктора.

Вместе с тем глубина проникновения электромагнитной волны в металл составляет при этих частотах доли миллиметра, т. е. ничтожный процент от размера детали индуктора. Так как электромагнитный процесс в металле затухает на расстоянии уже одной длины волны—можно считать, что во всем пространстве внутри металла магнитное поле равно нулю.

Следовательно, мы можем решать задачу нахождения распределения магнитного поля в пространстве вокруг индуктора и нагреваемой детали, как задачу магнитоэлектростатическую, предположив, что индуктор и нагреваемая деталь выполнены из некоего гипотетического материала с магнитной проницаемостью, равной нулю. Магнитные силовые линии как бы „омывают“ нагреваемую деталь и индуктор, подобно тому, как струи воздуха в аэродинамической трубе омывают модель крыла самолета. Лучшей аналогией распределения линий магнитного поля при интересующем нас взаиморасположении индуктора и нагреваемой детали будут линии тока проводимости вокруг изготовленных из диэлектрика и помещенных в электролитическую ванну моделей индуктора и детали. Модели эти могут быть сделаны из дерева, эбонита, парафина и тому подобных изолирующих материалов. При малых габаритах детали и индуктора модели желательно делать увеличенных размеров.

Таким образом для отыскания распределения магнитного поля между индуктором и деталью модели их располагаются соответственно в электролитической ванне, на месте же эквипотенциальных поверхностей магнитного поля помещаются электроды, к которым прикладывается переменное напряжение<sup>1</sup>. При помощи специального зонда снимается распределение токов проводимости в воде, окружающей модели. Напряженность электрического поля у поверхности моделей  $E$ , соответствует напряженности магнитного поля  $H$ . Настил<sup>2</sup> вихревого тока на каждой участке поверхности нагреваемой детали равен  $\frac{H}{4\pi}$ . Таким образом на модели мы получаем картину распределения вихревых токов и выделяемого ими тепла.

Электролитическая ванна для конструктора приспособлений индукционного нагрева является

<sup>1</sup> В деталях, имеющих ось симметрии, всегда имеются две эквипотенциальных поверхности в виде плоскостей. Поэтому легче всего применим метод моделирования к симметричным телам.

<sup>2</sup> Настилом вихревого тока, следуя терминологии проф. В. К. Аркадьева (см. „Электромагнитные процессы в металлах“, ОНТИ, 1936, стр. 43), мы будем называть полный ток, проходящий на полоску в 1 см ширины

своеобразной „аэродинамической трубой“, позволяющей быстро „продуть“ экспериментальную модель индуктора, не прибегая к изготовлению индуктора в натуре и к дорогостоящим опытам по нагреву и исследованию стальных изделий. Этот способ позволяет получить достаточно близко совпадающие с практическими данные распределения плотности вихревых токов и к. п. д. показывающие, насколько выбранная конфигурация индуктора соответствует своему назначению.

Весьма важно подчеркнуть, что когда глубина проникновения тока в материал индуктора и нагреваемой детали значительно меньше, чем их размеры, тогда ни величина удельного сопротивления  $\rho$  ни магнитная проницаемость  $\mu$  материалов детали и индуктора не влияют на распределение настила вихревых токов. Снятое в электролитической ванне распределение магнитного поля остается одним и тем же, выполнена ли нагреваемая деталь из стали или из красной меди. С изменением  $\rho$  и  $\mu$  меняется только глубина проникновения и количество тепла, выделяемого вихревыми токами в поверхностном слое металла.

На рис. 1 показано снятое на модели в электролитической ванне распределение магнитного поля и настила вихревых токов.

Легче всего придать желательную форму индуктору в том случае, когда он состоит из одного витка.

Для уменьшения вредных токов рассеяния расстояния между индуктором и нагреваемой деталью желательно иметь не более нескольких миллиметров.

Напряжение на зажимах нагревательного индуктора не должно превышать нескольких сот вольт. При нагреве детали до температуры закалки сдельных участков детали начинается термическая эмиссия. В пространстве между деталью и индуктором может происходить ионизация и

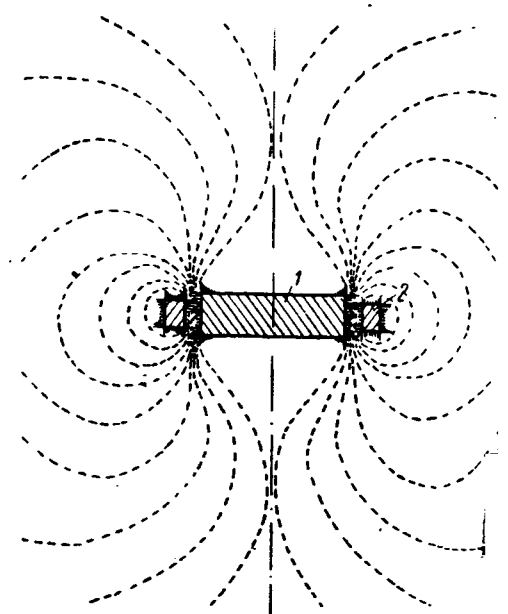


Рис. 1. Распределение магнитного поля настила вихревых токов при нагреве цилиндрического тела в поле одновиткового индуктора:

1 — нагреваемая деталь; 2 — индуктор

ьших напряжениях на индукторе (порядка нескольких киловольт) промежутков между деталями индуктором пробивается.

питания установок индукционного нагрева. В настоящее время широкое распространение получили ламповые генераторы. Мощные генераторные лампы работают при анодном напряжении до 10 кВ. Такого порядка, следовательно, должно быть напряжение на нагрузке, включенной в одну цепь генераторной лампы.

Чтобы удовлетворить эксплуатационным требованиям — иметь напряжение на нагревательном индукторе не выше нескольких сот вольт при 10 кВ анодной цепи генераторной лампы, до настоящего времени прибегали к включению промежуточных контуров. Но применение промежуточных контуров усложняет настройку генератора, ухудшает его и ухудшает его к. п. д.

Вторым удалось разработать специальный контур вихревых токов, позволяющий таким образом деформировать и направить магнитное поле многовиткового индуктора, сосредоточить магнитный поток лишь на тех участках поверхности обрабатываемой детали, которые необходимо нагреть, а также защитить многовитковый индуктор, к которому может быть приложено полное анодное напряжение 10 кВ от непосредственного воздействия накаленной поверхности детали.

Сущность действия концентратора основана на вышеотмеченном свойстве вихревых токов высокой частоты полностью экранировать внутренность металла от магнитного поля. Металл, помещенный в быстропеременное магнитное поле, как бы выжимает магнитные силовые линии из занимаемого им объема.

Но так как всегда линейный интеграл напряженности магнитного поля

$$\oint H dl = 4\pi AW \quad (\text{где } AW —$$

перевитки индуктора), то „выжимание“ поля из одной части пространства, окружающего индуктор, сопровождается повышением интенсивности магнитного поля в другой части пространства.

Если бы металлическое тело, вызывающее перераспределение поля, было сделано из сверхпроводника, то это перераспределение происходило бы без всяких дополнительных потерь. Практически же концентратор можно изготовить лишь из материала, обладающего определенным сопротивлением (например из красной меди в лучшем случае жеребренной). Поэтому в самом концентраторе всегда будет выделяться некоторая мощность.

На рис. 2 показаны принципиальные схемы включения концентратора.

При схеме а колебательный контур, 4 и 5 представляет большое сопротивление только для основной гармоники тока. Поэтому независимо от формы анодного тока напряжение на индукторе 5 будет иметь синусоидальную форму. Очень легко сделать контур 4 и 5 многоволновым (с несколькими степенями свободы) таким образом, чтобы представлял большое сопротивление и для третьей гармоники анодного тока. При этом третья гармоника также будет производить полезный нагрев обрабатываемой детали. Благодаря использованию третьей гармоники повышается к. п. д.

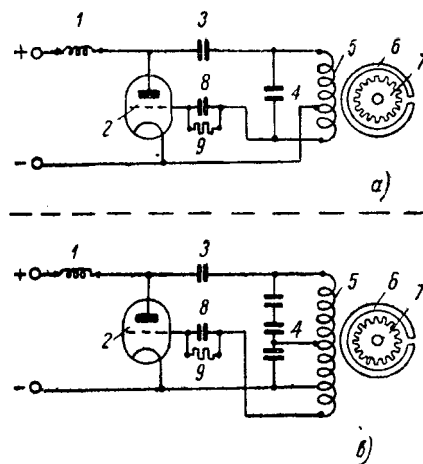


Рис. 2. Схемы включения концентратора:

а — используется только первая гармоника анодного тока; б — используются первая и третья гармоники. На схемах: 1 — стопорный дроссель; 2 — генераторная лампа; 3 — разделительный конденсатор; 4 — конденсатор колебательного контура; 5 — многовитковый индуктор; 6 — концентратор; 7 — нагреваемая деталь; 8 и 9 — конденсатор и сопротивление „гридника“

генератора. Это ценно тем, что при высоком к. п. д. от данного типа лампы можно получить значительно большую мощность. Если допустимые потери на лампе —  $P_a$ , то полезная мощность, отдаваемая в колебательный контур, будет

$$P_o = P_a \frac{\eta}{1 - \eta}.$$

На рис. 3 и 4 схематически изображены конструкции концентраторов. Как видно из рисунков, концентратор состоит из массивной медной втулки, снабженной прорезью. Вихревые токи текут по поверхности концентратора, обращенной к многовитковому индуктору, по сторонам прорези и замыкаются по гребню, обращенному к нагреваемой детали. Так как высота гребня значительно меньше, чем высота обращенной к индуктору поверхности концентратора, то наибольшая плотность вихревых токов получается на гребне. Поэтому наибольшая интенсивность магнитного поля получается в щели между деталью и гребнем концентратора.

На рис. 3 изображен концентратор для нагрева рабочей поверхности зубчатых колес, а на рис. 4 — для нагрева рабочей поверхности зубчатых венцов.

Если обозначить индуктивность нашей системы (индуктивность, измеренную на зажимах многовиткового индуктора) через  $L$ , емкость батареи конденсаторов, приключенной параллельно индуктору, —  $C$  и напряжение на индукторе  $E$  (частота тока, питающего индуктор, понятно, соответствует резонансной частоте контура  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ), то мощность, отдаваемая нагреваемой детали,

$$P_a = kE^2 \frac{C^2}{L^2} \sqrt{P_{1\mu}}; \quad (1)$$

$k$  — коэффициент, зависящий только от взаимного расположения детали и индуктора.

Наличие концентратора значительно уменьшает индуктивность системы, так как вкладывает концен-

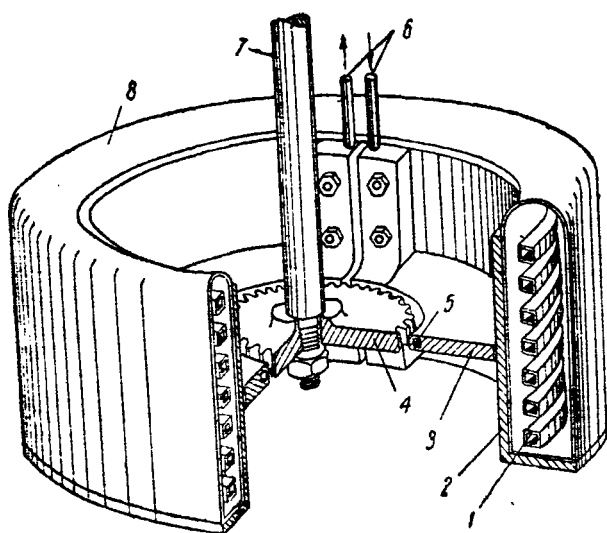


Рис. 3. Схематический вид концентратора для нагрева шестерен:

1 — многовитковый индуктор; 2 — корпус концентратора; 3 — гребень концентратора; 4 — нагреваемая деталь; 5 — канал для водяного охлаждения гребня концентратора; 6 — водоподводящие трубки; 7 — зажимы для крепления нагреваемой детали; 8 — защитный кожух

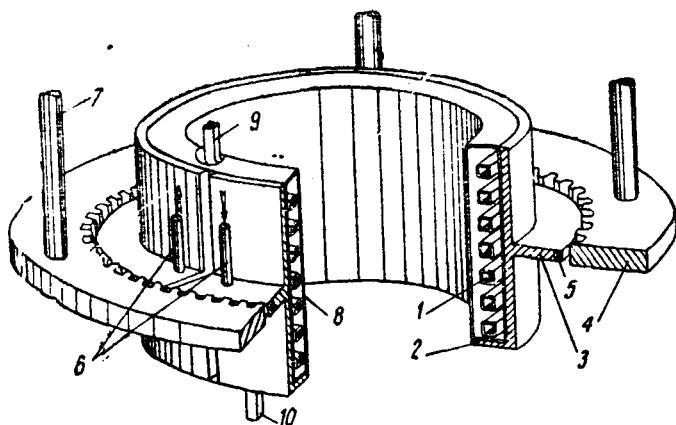


Рис. 4. Схематический вид концентратора для нагрева зубчатых венцов:

1 — многовитковый индуктор; 2 — корпус концентратора; 3 — гребень его; 4 — нагреваемая деталь; 5 — канал для охлаждения гребня концентратора; 6 — водоподводящие трубки; 7 — зажимы для крепления нагреваемой детали; 8 — защитный кожух; 9 и 10 — начало и конец индуктора

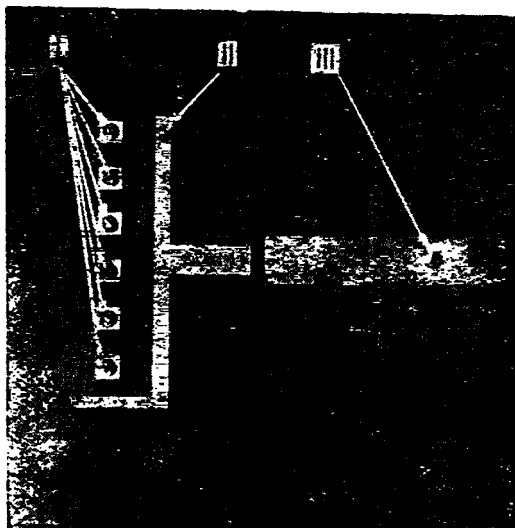


Рис. 5. Внешний вид модели для изучения распределения вихревых токов в концентраторе:

1 — многовитковый индуктор; 2 — корпус концентратора; 3 — нагреваемая деталь

тратора уменьшает „живое сечение“ магнитного потока<sup>3</sup>. Поэтому при нагреве в концентраторе требуется значительно меньшая мощность конденсаторной батареи, чем при нагреве в поле простого многовиткового индуктора.

Кроме того, концентратор немалого увеличивает коэффициент  $\kappa$  в формуле (1).

Коэффициент полезного действия при нагреве без концентратора

$$\eta_1 = \frac{R_a}{R_a + R_l},$$

где  $R_a$  — эквивалентное активное сопротивление нагреваемой детали;  $R_l$  — тоже индуктора. При нагреве с концентратором в выражении для  $\kappa$ , п. д.

$$\eta_2 = \frac{R'_a}{R'_a + R'_s + R_\kappa}$$

появляется в знаменателе еще

одно слагаемое  $R_\kappa$  — эквивалентное активное сопротивление концентратора. Увеличение коэффициента  $\kappa$  в формуле (1) соответствует увеличению  $R_a$  в формуле для  $\eta_2$ . Поэтому, хотя в знаменателе формулы для  $\eta_2$  имеется новый член  $R_\kappa$ , но так как  $R'_a$  в этой формуле значительно больше, чем  $R_a$  в формуле для  $\eta_1$ , то  $\eta_2 > \eta_1$ , — применение концентратора увеличивает к. п. д. индукционного нагрева.

На рис. 5 приведена фотография модели концентратора, на которой производилось в электрической ванне изучение распределения магнитного поля и настила вихревых токов. На рис. 6 и 7 показано это распределение. Путем такого изучения полей на модели было найдено, что при нагреве цилиндрических тел, когда мы хотим получить равномерный нагрев по всей боковой поверхности цилиндра, высота индуктора должна быть равна  $h - 2a$ ,  $h$  — высота нагреваемого цилиндра,  $a$  — зазор между цилиндром и индуктором. Визуализированные на рис. 3 и 4 концентраторах это обстоятельство учтено, и для предотвращения перегрева краев зубцов шестерен высота гребня концентратора

<sup>3</sup> Индуктивность определяется отношением сечения магнитного потока к средней длине магнитной силовой линии.

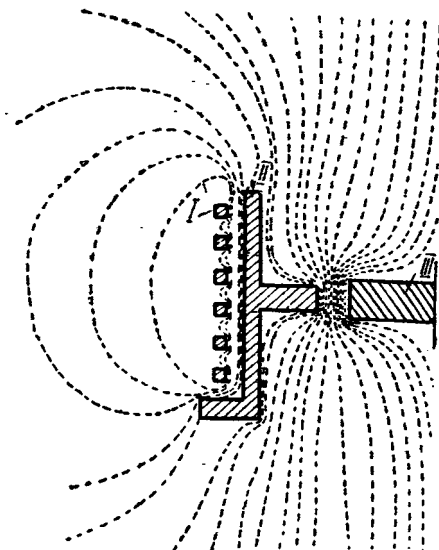


Рис. 6. Распределение магнитного поля, снятое на модели рис. 5

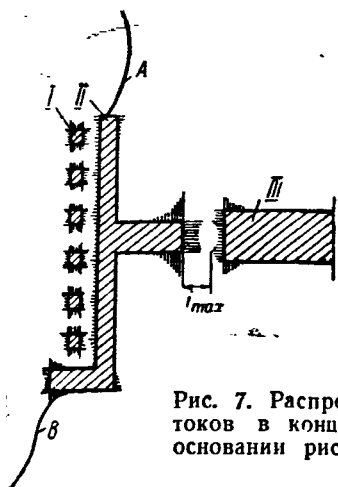


Рис. 7. Распределение настила вихревых токов в концентраторе, вычисленное на основании рис. 6 (A и B — линия токо-раздела)

концентратора сделана меньше высоты шестерни.

Мы считаем, что термин „концентратор“ наиболее удачно отражает физическую сущность процессов, протекающих в вышеописанном устройстве. Неправильно было бы назвать это устройство трансформатором. Разрезная втулка (вкладыш концентратора) не является вторичной обмоткой трансформатора. У нее нет самого существенного признака последней. Нет ни одной магнитной силовой линии, которая образовывала бы замкнутый контур вокруг этого вкладыша. Следовательно, в отличие от обмотки трансформатора вкладыш не имеет собственного потока рассеяния. На рис. 8 показан концентратор на 200 kW. Первичная обмотка этого концентратора состоит из восьми витков квадратной ( $10 \times 10$  mm) медной трубки. Вкладыш концентратора сварен из листовой красной меди. Параллельно первичной обмотке включена батарея конденсаторов суммарной емкостью  $0,06 \mu F$  на рабочее напряжение 12 kV, активной мощности 8000 kVA. Собственная частота нагревательной системы в зависимости от типа обрабатываемой детали менялась в пределах 160 до 230 kHz (длина волны 1900—1300 m). Напряжение на зажимах индуктора менялось в пределах от 5 до 9 kV (эффективных). Максимальная сила тока в индукторе была 870 A. Нагревательная система имела  $\cos \varphi = 0,025$ .

Ток в гребне концентратора был при максимальной нагрузке равен 7000 A. Так как при частоте 150 kHz ток проникает в медь на глубину 0,2 mm, плотность тока на гребне концентратора достигала довольно внушительной величины —  $3500 A/mm^2$ .

На рис. 9 показан процесс нагрева шестерни диаметром 260 mm в 200 kW концентраторе. Сняток сделан через 4 sec после включения тока.

Шестерни, подлежащие нагреву, крепятся на вертикальном шпинделе. При установке шестерни возможен некоторый эксцентриситет, и участок, расположенный ближе к гребню концентратора, будет нагреваться сильнее. Чтобы устранить такой несимметричный нагрев, шестерня приводится в вращение. Этим обеспечивается полная равномерность нагрева.

Опыт эксплуатации нашего концентратора окончательно опровергает существовавший у некоторых части специалистов по поверхностной закалке предрассудок о невозможности введения закалочный станок высокого напряжения<sup>4</sup> (10 kV).

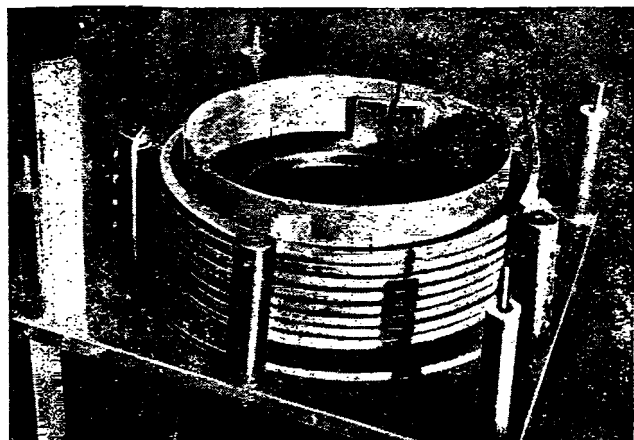


Рис. 8. Внешний вид концентратора на 200 kW со снятым защитным кожухом

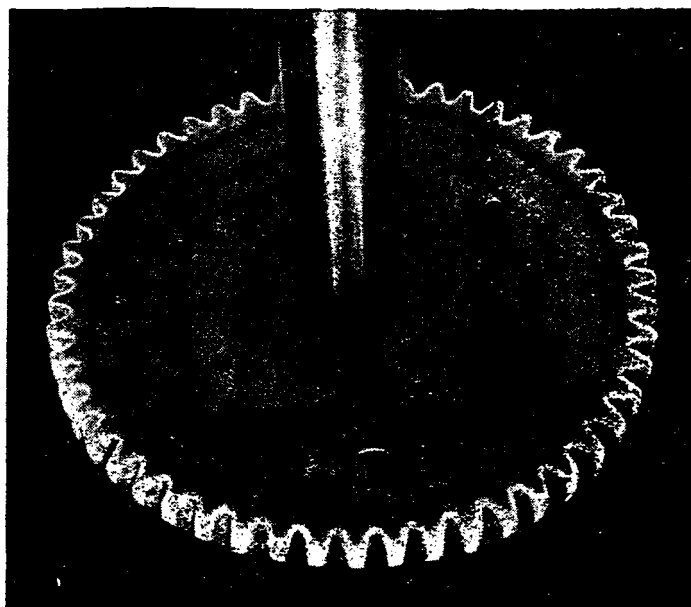


Рис. 9

В изображенном на рис. 8 концентраторе применена воздушная изоляция многovitкового индуктора. К квадратной трубке, из которой намотан индуктор, приварены медные болты, укрепленные в эбонитовых стойках. Расстояние между отдельными витками взято 5 mm. Расстояние от витков до вкладыша 15 mm. Может возникнуть опасение, что при эксплуатации концентратора в сыром помещении на поверхности медной трубки, по которой протекает холодная вода, будет конденсироваться влага, и это сможет повести к корот-

<sup>4</sup> См. проф. В. П. Вологдин, К вопросу о выборе генератора высокой частоты для поверхностной закалки. „Вестник электропромышленности“ № 5, 1938. Возражая против применения ламповых генераторов, В. П. Вологдин писал: „Совершенно невозможно объединение высокочастотного трансформатора с индуктивностью контура, как это делают Бабаи и Лозинский, так как невозможно иметь непосредственно в закалочном станке 10—11 kV. Отсюда вытекает необходимость создания, помимо контура генератора, еще и контура закалочного устройства. Это устройство вызывает необходимость в более чем в двойном количестве конденсаторов, в чем нет надобности при машинном варианте“.

кому замыканию между витками или витков со вкладышем. Но если вспомнить, что в 1 л воздуха при температуре в 20° даже при стопроцентной влажности содержится всего 0,017 g воды (17 g/m<sup>3</sup>), то можно будет согласиться, что достаточно сделать защитный кожух концентратора настолько плотным, чтобы воздухообмен был затруднен (полная герметичность не обязательна), и явление опотевания трубок (капез) будет полностью устранено.

В новых конструкциях концентраторов предполагается применить изоляцию из микаленты. Такая изоляция позволит уменьшить расстояние между витками, а также расстояние между индуктором и вкладышем концентратора. Вкладыш концентратора надежно защитит эту изоляцию от воздействия раскаленного металла. Благодаря уменьшенному расстоянию должен возрасти коэффициент мощности индуктора, что позволит уменьшить реактивную мощность батареи конденсаторов.

Ток в медной трубке индуктора течет только по тонкому поверхностному слою, и плотность тока достигает в ней 400 A/mm<sup>2</sup>. Для того чтобы уменьшить плотность тока и тем самым снизить потери в индукторе, можно выполнить обмотку индуктора из „литцендрата“ (провод, сплетенный из многих тонких изолированных жил). Чем выше частота, тем тоньше должны быть отдельные жилки. Поэтому в случае применения „литцендрата“ целесообразно понизить частоту тока, питающего концентратор, до 80—50 kHz. В этом случае диаметр отдельных жилок может быть взят равным 0,15—0,2 mm.

Концентратор не является совершенно универсальным устройством, позволяющим решать все без исключения задачи зонального нагрева стальных изделий. Для шеек коленчатых валов, например, выгоднее применять простой трансформатор с разъемной вторичной обмоткой. Для нагрева большой поверхности плиты можно применить простой многовитковый индуктор. Однако для нагрева очень большого числа деталей наиболее удобен именно концентратор. В концентраторе, для того чтобы перейти от нагрева одного типа деталей к другому, достаточно сменить внутренний вкладыш или даже один только гребень. Такая операция может быть произведена в несколько минут. Никакой перестройки генератора при переходе от одного типа деталей к другому не требуется.

Напряжение на вкладыше (между краями прорези) равно анодному напряжению, поделенному на число витков индуктора и помноженному на отношение магнитного потока, проходящего между гребнем концентратора и обрабатываемой деталью, к полному магнитному потоку индуктора. При индукторе, состоящем из 15 витков и анодном напряжении 10 kV действующее значение напряжения на вкладыше будет 400 V.

Регулирование мощности, отдаваемой концентратором, может производиться исключительно путем изменения емкости приключенной к нему батареи конденсаторов. При прочих неизменных условиях мощность, отдаваемая детали, будет меняться пропорционально  $C^2$ . Обращенная к нагреваемой детали сторона вкладыша концентратора, сделана из массивной, охлаждаемой проточной водой меди. Поэтому случайные механические удары, попадание масла или воды не могут повредить концентратору (для большей коррозионной устойчивости внутреннюю поверхность вкладыша концентратора можно, например, хромировать).

После нагрева в концентраторе деталь закалки должна быть быстро охлаждена. Для этого она может быть быстро перемещена в ванну с охлаждающей жидкостью. В некоторых случаях для подачи охлаждающей жидкости может быть использован сам вкладыш концентратора. Гребень концентратора, обращенный к нагреваемой детали, снабжается каналом, закрытым перфорированной накладкой, сквозь отверстия в которой под давлением может подаваться охлаждающая жидкость.

Описанные выше эксплуатационные качества концентраторов вихревых токов — низкое напряжение на вкладыше, возможность быстрой смены вкладыша при переходе от одного типа изделий к другому без перестройки при этом генератора, более высокий к. п. д., чем при других способах индукционного нагрева, — дают основания полагать, что концентраторы вихревых токов найдут в ближайшее время широкое применение в термических цехах машиностроительных заводов. Со временем они обеспечат возможность стахановской работы по высококачественной термообработке деталей самой сложной конфигурации.

<sup>5</sup> При правильно сконструированном вкладыше отношение магнитного потока между гребнем концентратора и обрабатываемой деталью к полному магнитному потоку индуктора равно 0,8—0,85. —

*Редакция продолжает опубликование материалов, связанных с пересмотром устаревших методов и созданием руководящих указаний (р. у.) по проектированию городских электросетей (см. „Электричество“ № 7 и 9, 1938, а также № 1 и 3, 1939).*

*Помещая статью проф. В. Н. Степанова, редакция считает нужным отметить серьезное значение ряда критических замечаний автора по поводу проекта р. у., изложенного в статье проф. В. П. Иванова. Проф. В. Н. Степанов, в частности, правильно указывает на принципиальную неприемлемость рекомендуемых в проекте р. у. методов технико-экономического расчета электросетей: установление коэффициентов дефицитности меди и т. п.*

*Редакция*

## Замечания по проекту руководящих указаний для проектирования городских электросетей

**В. Н. СТЕПАНОВ**

*Москва*

СОВЕРШЕННО очевидно большое значение руководящих указаний (р. у.) для проектирования городских электросетей, роль которых в электрохозяйстве СССР в связи с третьей пятилеткой сильно возрастает. Мы полностью разделяем взгляды проф. В. П. Иванова на общее значение р. у. для дальнейшего развития электросетей в Союзе, изложенные в его статье<sup>1</sup>. Однако создание полноценного, научно-технически и экономически обоснованного руководства по проектированию электросетей требует всестороннего обсуждения всех параграфов р. у. специалистами, работающими в области проектирования, монтажа и эксплуатации сетей.

В январе текущего года в Москве была образована комиссия<sup>2</sup> для просмотра проекта р. у. Эта комиссия разошлась во взглядах как по некоторым принципиальным вопросам, так и по многим редакционным формулировкам положений с авторами р. у., причем внутри самой комиссии сравнительно редко возникали разногласия. В целях обсуждения проекта р. у. мы помещаем наиболее существенные замечания, принятые комиссией. Однако эти замечания касаются не только тех параграфов, которые приведены в статье В. П. Иванова, но всех р. у. в целом.

1. Прежде всего надо указать на неудачные термины, употребляющиеся в р. у. Так, фидерные и распределительные пункты сетей высокого напряжения называются фидерными подстанциями. Мы считаем необходимым относить под понятие подстанций только такие сетевые сооружения, в которых имеется трансформация электрической энергии. Этим достигается соответствие с общепотребительной практикой и устраняются сложные названия, так как пришлось бы говорить «фидерных подстанциях» и о «трансформаторных подстанциях», как это приведено в р. у.

<sup>1</sup> „Электричество“ № 3, 1939.

<sup>2</sup> Состав комиссии: проф. В. Н. Степанов, инженеры И. С. Смертный, Я. И. Лейтис, М. И. Липкин, П. В. Савельев, С. Соколов, Л. М. Фингер.

Однако многочисленные помещения с трансформаторами, служащими для преобразования энергии, получаемой из сети высокого напряжения в энергию низкого напряжения для питания городских потребителей, мы не считаем целесообразным называть трансформаторными подстанциями, как это сделано в р. у. Такие сооружения удобнее называть «трансформаторными пунктами» (обозначение — т. п.). Этому соответствует многолетняя практика Мосэнерго и установившаяся литературная традиция. Далее трансформаторный пункт, подающий энергию в сеть низкого напряжения общего пользования, можно называть «сетевым т. п.», а в том случае, когда от него питается отдельный потребитель, — «абонентским т. п.». Эти названия имеют уже широкое распространение и проще, чем предлагаемые в р. у.: «трансформаторные подстанции общего пользования» и «трансформаторные подстанции индивидуального пользования».

Однако для крупных абонентских установок (заводы и фабрики) принято название «абонентские подстанции». Характерным признаком, отличающим их от абонентских т. п., является наличие питания их от отдельных фидеров.

Для обозначения источников питания городских сетей можно рекомендовать термин «опорные пункты» (обозначение — о. п.), получающие в настоящее время постепенное распространение. Опорным пунктом в сети может быть городская или районная станция или районная подстанция. Введением такого обобщенного термина, как «опорный пункт», упрощается описание устройства городской сети. Если опорным пунктом является подстанция, от которой осуществляется питание всей сети или только части ее, то такую подстанцию можно называть «питающей подстанцией». Название главная или районная подстанция, как это проведено в р. у., неудобно. Кроме «главной», других подобных подстанций в городе может не быть или, наоборот, город может иметь несколько «главных» подстанций. Название же



«районная подстанция» относится к понятию «районных сетей», к которым городские сети не относятся.

2. Рекомендуемое в р. у. разрешение технико-экономических расчетов городских сетей, изложенное в § 14 и 15, нельзя признать удачным. Во-первых, требование окупаемости перерасхода капитальных затрат в течение 10 лет эксплуатации ни на чем не основано и может оказаться в противоречии с методом, изложенным в § 15. Во-вторых, рекомендуемое определение коэффициентов  $k$  и  $k_1$  по § 15 ничего не дает, так как предельное значение этих коэффициентов неизвестно и едва ли будет установлено каким-либо государственным органом. Более того, ряд специалистов считает даже вредным устанавливать цифровые значения этих или подобных им коэффициентов. Так, проф. В. И. Вейц говорит<sup>3</sup>: «Введение коэффициента дефицитности меди в технико-экономических расчетах носит сугубо формальный характер и не должно быть рекомендовано, так как это с принципиальной стороны не обосновано, а числовое определение является по существу произвольным. Также неверна рекомендация применения принципа минимальной или некоей «заданной» нормы окупаемости».

При проектировании городских сетей мы считаем целесообразным рекомендовать метод, предложенный инж. Ф. П. Лашковым и инж. И. С. Бессмертным, заключающийся в том, что составляются несколько вариантов на элементы сетей, например, на питательную высоковольтную сеть. Один из вариантов должен состоять из условия получения минимума проводящего материала. Тогда, сравнивая уменьшение потерь энергии за счет возрастания расхода металла в последующих вариантах, можно остановиться на таком варианте, который окажется наиболее целесообразным с государственной точки зрения при существующей конъюнктуре потребления металла и топлива. Такой выбор может быть произведен в некоторых случаях не проектной организацией, а вышестоящими органами, утверждающими проекты городских сетей.

3. Предлагаемые в р. у. нормы осветительной и бытовой нагрузки (табл. 1 и 2, § 48 и 51) нельзя рекомендовать. Во-первых, получается большая произвольность при отнесении городов в ту или иную группу таблицы, так как даваемые характеристики групп весьма неопределенны.

Во-вторых, сами группы таблиц дают слишком большие пределы для выбора, обоснование их неизвестно и значение в ряде случаев может оспариваться. Практика проектирования городских сетей Коммунально-энергетическим проектом выработала методы подсчета нагрузки для новых городов по светотехническим расчетам для полезной площади зданий, а для существующих городов — по действительным замерам нагрузок с учетом предполагаемого роста нагрузки. Устанавливать универсальные нормы, подобные табл. 1, мы считаем нецелесообразным, так как ими все равно трудно будет пользоваться, так как ошибки могут быть весьма значительны.

<sup>3</sup> Дискуссия о проектировании городских электросетей «Электричество» № 1, 1939.

4. В р. у. совершенно не затронут вопрос о том следует или нет заземлять нулевые провода системы 220/127 В. Этот вопрос должен получить определенное решение.

5. Для определения расчетных потерь напряжения в высоковольтных и в низковольтных городских сетях надо составить баланс колебаний во всем звенье сети, начиная от напряжения опорных пунктов и кончая приемниками потребителей, с учетом пределов регулирования напряжения. Потерю напряжения во внутренних установках можно брать по табл. 3.

Длительные колебания напряжения у потребителей при максимуме и минимуме нагрузок должны выходить из пределов  $\pm 6\%$ . Эта цифра предлагается нами в соответствии с практикой многих зарубежных городов (вместо цифры  $\pm 5\%$  по § 63 р. у.). Нормировать допустимую потерю напряжения в сети низкого напряжения (как это сделано в р. у. в § 65, где рекомендуется величина  $5\%$ ) считаем нецелесообразным. Применение тех или других мер регулирования напряжения может оказать значительное влияние на эту величину.

6. В IV главе, трактующей о выборе схем сетей низкого напряжения (§ 75 — § 86), в р. у. дается неправильное освещение применения разомкнутых радиальных сетей. В р. у. сказано, что «применение разомкнутых сетей допустимо для поселений городского типа и заводских поселков с небольшой плотностью нагрузки (до 50 W/m<sup>2</sup>)». Но в настоящее время разомкнутые сети широко применяются в городах при допущении ручной или автоматического переключения при аварии. При этих условиях они могут конкурировать с системой замкнутой сети. Что же касается рекомендации полужамкнутых сетей с применением предохранителей в соединительных пунктах, то мы считаем, что еще недостаточно накоплен опыт работы этих сетей чтобы можно было их рекомендовать. Да и вообще они нам представляются промежуточным несовершенным решением проблемы бесперебойного электроснабжения потребителей. Конкурентоспособными мы считаем систему замкнутых сетей и систему разомкнутых сетей с автоматическими переключениями (с применением контакторов).

7. Большим недостатком р. у. является исключение из рассмотрения проектирования замкнутых сетей низкого напряжения. Отсутствие достаточного опыта проектирования таких сетей тем более обязывает дать указания по этому вопросу основываясь на литературных материалах и мнениях специалистов. Для крупных городов замкнутые сети должны постепенно внедряться и отсутствие указания на них в р. у. может держать введение их в практику.

8. В главе VII о защите сетей низкого напряжения говорится только о применении предохранителей, а между тем могут быть низкого напряжения с применением контакторов и первичных максимальных реле (типа р. у.) дает возможность получить надежную защиту или применение автоматики.

9. Глава VII, указывающая правила выбора земель и заделаний, является недостаточной по содержанию. Эти вопросы должны трактоваться

Вместо с выбором заземлений в сети высокого напряжения. Все относящиеся сюда параграфы должны представлять лишь дополнение и разъяснение к опубликованным уже руководящим указаниям по устройству заземлений.

IV раздел, содержащий указания о проектировании сетей высокого напряжения, нуждается в большем обсуждении. К сожалению, в статье П. Иванова отмечаются не самые интересные параграфы и нет типичных схем сетей, рекомендуемых р. у. В р. у. имеется определенная установка на выбор замкнутых сетей. На сетях, помещенных в р. у., имеются питательные сети, представляющие группу фидеров соединенных между собой или имеются сети, образующие кольцо между фидерными пунктами. В связи с этими сетями р. у. рекомендуют ряд сложных схем: дистанционные, дифференциальные и пр.

Мы считаем, что при проектировании питательных сетей надо отдавать предпочтение системам замкнутых сетей с применением автоматических выключений. Этим достигается снижение токов короткого замыкания, применение простейших реле, получение простой бесперебойной системы питания, получение наименьших затрат на резервное питание. Приведенные указания не только отдают предпочтение замкнутым сетям, но даже совершенно не упоминают об отмеченных нами системах сетей.

Вопрос о расчете сети высокого напряжения оставлен недостаточно полно. Выбор числа фидеров нельзя производить, основываясь на том, в котором говорится, что к увеличению числа фидеров свыше одного надо переходить тогда, когда сечение фидера получается свыше  $100 \text{ mm}^2$  для воздушной сети и  $150 \text{ mm}^2$  для кабельной. Число фидеров определяется по техническим соображениям и по условиям надежности и удобства эксплуатации. Величины расчетных потерь нельзя точно устанавливать, можно приведенным цифрам в § 277. Эти величины должны устанавливаться различными для каждого конкретного случая в зависимости от состояния напряжения опорного пункта, условий по регулированию напряжения и экономических соображений.

В V разделе р. у. даются указания по проектированию фидерных и трансформаторных пунктов, а в приложении к этому разделу даются

чертежи рекомендуемых конструкций этих пунктов. Эти чертежи нельзя рассматривать как наиболее желательные, их можно лишь допускать в малоответственных сетях небольшой мощности. Главным недостатком представленных конструкций является применение каркасных сборок для разъединителей высокого напряжения. Многолетний опыт Мосэнерго с такими сборками ясно показал все эксплуатационное неудобство их и большую опасность для обслуживающего персонала. Поэтому Коммунально-энергетический проект еще в прошлом году разработал конструкцию трансформаторных пунктов без сборок, но с размещением разъединителей на сети в ячейках. Проекты сетей для нескольких городов (Пенза, Таганрог и др.) уже получили утверждение в НККХ с этой новой конструкцией и т. п.

С другой стороны, в приложении р. у. нет конструкции и т. п. для помещения внутри зданий, что рекомендуется в тексте р. у., а между тем такая конструкция весьма нужна и представляет значительные трудности для проектантов. Соединение сборных шин с другими секциями или с трансформаторами желательно производить с помощью шин или проводов, а не кабелей, как рекомендует р. у. В число аппаратуры т. п. и ф. п. надо включить масляные выключатели типа ВМГ-22, МГФ-13. Конструкция вводов дана весьма несовершенной. Мы рекомендуем применение вводных ящиков типа Мосэнерго.

13. В р. у. совершенно отсутствует указание по ряду вопросов, весьма важных для проектирования сетей. Сюда относятся: а) вопрос о компенсации емкостных токов в сетях; б) рассмотрение условий действия земляной защиты на отключение или на сигнал; в) рекомендация выбора мероприятий по регулированию напряжения в сетях.

**Заключение.** Для окончательной выработки р. у. по проектированию городских сетей необходимо провести обсуждение ряда положений, изложенных в проекте р. у. Было бы еще лучше созвать конференцию специалистов по вопросам проектирования городских электросетей. Всестороннее и глубокое обсуждение спорных вопросов и выработка правильно обоснованных р. у. окажут свое влияние на улучшение всего дела проектирования городских электрических сетей в Союзе.

Проф. РИНКЕВИЧ С. А. Теория электропривода. 2-ое изд. Л. М. ОНТИ. Главн. редакция энергетической литературы, 1938, 471 стр., тираж 5000 экз., цена 11 р. 50 к.<sup>1</sup>

Прежде чем рассматривать названную книгу по существу, мы считаем целесообразным высказать некоторые соображения о том, каким требованиям должно удовлетворять современное учебное пособие по теории электропривода.

Очевидно, что наиболее полный ответ на поставленные вопросы можно будет дать, если обратиться к практике проектирования и эксплуатации электроприводов в различных отраслях промышленности.

Весьма большое количество исполнительных механизмов промышленных установок преобладает при обслуживании их электроприводов работы преимущественно в переходных режимах. Отсюда следует, что данная учебная дисциплина должна рассматривать теорию переходных режимов, давать методы расчета и выбора параметров электроприводов, обеспечивающих рациональное протекание переходных режимов.

Далее известно, что проектирование схем управления, а также выбор габарита электродвигателя должны производиться на базе нагрузочной диаграммы рабочей машины и электропривода. Следовательно, в теории электропривода должны рассматриваться наиболее общие методы построения нагрузочных диаграмм для типовых рабочих машин и методы выбора электропривода, который обеспечивал бы заданную рабочую диаграмму.

Современные тенденции в области машиностроения в значительной степени характеризуются максимально возможным упрощением механических конструкций и кинематических связей. Эти тенденции реализуются путем внедрения много моторного электропривода и электрического вала.

Применение электрического вала диктуется ответственными требованиями технологического процесса. Значит в теории электропривода должны достаточно подробно рассматриваться и эти вопросы.

Машины-орудия металлургических и машиностроительных заводов, бумажные и ротационные машины, некоторые машины в текстильной промышленности подъемно-транспортных установок, даже некоторых вентиляционных и компрессорных установок, требуют, чтобы их скорость вращения регулировалась в относительно широких пределах. Практика показывает, что необходимые пределы регулирования зачастую не могут быть достигнуты простыми средствами, и приходится для этой цели применять специальные каскады переменного и постоянного тока.

Значит, в теории электропривода надо рассматривать основные и наиболее часто применяемые в промышленности каскады, схемы их управления и методы расчета.

Здесь надо добавить, что ряд машин из числа отмеченных требует не только регулирования скорости вращения, но и поддержания заданной скорости при меняющихся условиях нагрузки. Последнее решается путем применения специальных схем или путем применения электро-механических и электронно-ионных регуляторов. Поэтому вопросы поддержания постоянства скорости вращения электропривода, основы расчета специальных схем включения, а также вопросы совместной работы электроприводов с регуляторами должны тоже являться предметом теории электропривода.

Для рабочих машин-автоматов и полуавтоматов и для глубокой автоматизации управления возникает проблема фиксированного останова. Поэтому в теории электропривода в настоящее время необходимо рассматривать типовые способы осуществления фиксированного останова электроприводов.

Выбор габарита машины по нагреву при помощи формул среднеквадратичного тока, момента и мощности для случая, когда электропривод пускается, замедляется и реверсируется значительное число раз в единицу времени, не дает правильного результата. Поэтому в теории электропривода приходится теперь рассматривать более

точные методы определения допустимой частоты вращения электродвигателя. К числу основных разделов должны относиться также: теория совместной работы двигателя с маховыми массами при заданном графике пуски рабочей машины, методы выбора величины масс, габарита двигателя, оптимального передаточного числа передачи от двигателя к рабочей машине. В данном курсе «Теория электропривода» уместно и рассматривать основы экспериментального исследования электроприводов в лабораторных и заводских условиях. Следует подчеркнуть, что последний вопрос имеет большое практическое значение для освоения новых электроприводов и рационализации существующих.

Наша партия и советское правительство требуют, чтобы советские учебники были бы лучшими в мире. Это означает, что каждый советский технический учебник должен отражать современное состояние науки и техники, ставить проблемные вопросы в связи с задачами развития народного хозяйства.

Обращаясь к книге проф. С. А. Ринкевича, прежде всего необходимо отметить, что материал в книге точно систематизирован. Для примера покажем это на следующем: вопросы пуска электродвигателя излагаются во второй главе «Механические характеристики электродвигателей», и они же трактуются в третьей главе «Выбор рода электродвигателя по механическим свойствам». Третья глава вообще характерна для рецензируемой книги с точки зрения расположения материала.

В этой главе рассматриваются такие многообразные вопросы: а) условия устойчивой работы электродвигателя на исполнительный механизм с заданной механической характеристикой; б) условия устойчивой работы электропривода с пульсирующей нагрузочной характеристикой; в) работа электродвигателя в схемах «электрический вал», г) перегрузочная способность электродвигателя; д) пусковые и тормозные свойства электродвигателя.

Регулирование скорости вращения электродвигателя рассматривается: в главе II раздел I, § 2; в главе II, раздел II, § 6; в главе II, раздел IV, § 11; в главе II, раздел V, § 15; в главе II, раздел VII; в главе III, § 9.

Очевидно, что было бы правильнее все вопросы регулирования скорости вращения объединить и изложить внимания читателей.

В § 5 книги автор рассматривает вопрос «Потери пуске и способы их уменьшения», и этому же вопросу посвящена глава III, § 7.

Вопросами использования живой силы маховика в четном маховика автор занимается в главах I, § 13.

Такое расположение материала затрудняет пользование книгой, а также излишне увеличивает объем книги. Вместе с тем ряд разделов курса не рассматривается в нужном объеме.

Классификация нагрузочных диаграмм базиса книги на уравнении Бланка, но уравнение Бланка не только для тех машин-орудий, у которых момент сопротивления зависит от скорости вращения. А не существует, например, ряд рабочих машин, у которых момент сопротивления есть функция пути (подъем), функция времени (прокатный стан) и т. д.

Существует ряд механизмов с переменным моментом инерции. Переменный момент инерции оказывает существенное влияние на характер протекания переходных процессов электропривода и на габарит двигателя. Но теория электропривода должна заниматься и этим вопросом. В рецензируемой книге он даже не затронут.

Раздел «Синхронное вращение электроприводов» так, что у читателя вряд ли возникнет сколько-нибудь четкое представление по данной теме. И ни слова об области применения электрических методов выбора параметров схем электропривода для заданного применения и условий работы. В книге не сказано о причинах появления электрического вала, а ведь это очень важно для учащегося, чтобы понимать вопросы.

<sup>1</sup> По материалам библиографического сектора Государственной научной библиотеки.

Таким же духе описываются переходные режимы электропривода. Ни одного живого слова не сказано по поводу этих вопросов. Значимость раздела не подчеркнута. Приведенные соотношения трактуются формально. Основные положения теории переходных режимов электроприводов не сформулированы.

Далее в книге приводятся уравнения механических характеристик серийной машины постоянного тока и коллекторных машин переменного тока. Однако пользоваться этими уравнениями практически невозможно, и анализировать при помощи них механические свойства двигателя затруднительно. А между тем методика исследования построения механических характеристик серийных машин постоянного тока достаточно подробно разработана проф. Р. Л. Ароновым в его книге «Электрооборудование промышленных приводов», а также в книге инж. Н. Вешеневского «Расчет сопротивлений для электроприводов».

В первой главе § 4 трактуется вопрос о выборе наивысшей скоростной диаграммы, а что такое «наивысшая скоростная диаграмма» — об этом не сказано. Но в этом параграфе также не говорится о том, что характер скоростной диаграммы влияет на производительность привода, а иногда и на габарит двигателя.

В разделе характеристик каскадных агрегатов приведен без всякого анализа уравнения, которыми практически пользоваться нельзя.

В данном разделе и вообще в книге о каскадах постоянного и переменного тока сказано очень мало, в то же время как в курсе «Теория электропривода», как сказано и должно излагаться основы применения, выбора и расчета типовых каскадных схем, а также технико-экономическое сравнение каскадов.

Нечисленные вопросы получили за последние годы значительную теоретическую и практическую разработку, имеется значительное количество опубликованных в различных источниках материалов, которое следовало бы изучить и обработать для помещения в книгу.

В разделе, очень важном, вообще отсутствует в книге методы и схемы поддержания постоянства скорости вращения электроприводов, способы фиксированного тока, определение допустимой частоты включения,

методы экспериментального исследования электроприводов, вопросы устойчивости электроприводов при мгновенном приложении нагрузки к валу машин. Все эти вопросы являются в настоящее время очень актуальными в теории и практике электрического привода.

В книге также отсутствует раздел, посвященный методике технико-экономического сравнения различных возможных вариантов электропривода. Книга не знакомит читателя с основами проектирования электроприводов, соответствующими требованиями социалистической экономики, с проблемами технического прогресса и развития электропривода в нашей стране на ближайший период.

Глава VI книги «Выбор электропривода», видимо, названа так случайно, ибо в ней рассматривается преимущественно вопрос о механических передачах. Очевидно, что прямое отношение этот раздел (в изложении автора) к теории электропривода не имеет, и его не следовало бы помещать в книгу.

Все изложенное выше о книге проф. С. А. Ринкевич показывает, что книга имеет ряд серьезных недостатков и не удовлетворяет в полной мере предъявляемым к курсу «Теория электропривода» основным требованиям. Книга и во втором своем издании только частично отражает современное состояние теории и практики электропривода. Обилие фактического справочного материала позволяет использовать книгу в качестве учебного пособия, но не может существенно изменить этой общей оценки.

Приходится, к сожалению, констатировать отсутствие в настоящее время учебников и учебных пособий, в которых были бы обобщены и систематизированы достаточно подробно основные вопросы современной теории электропривода и к созданию которых должен быть привлечен широкий коллектив работников вузов, заводов и исследовательских институтов.

Следует надеяться, что значительный педагогический опыт и большая эрудиция позволят проф. С. А. Ринкевичу принять активное участие в работах по созданию полноценных учебников и учебных пособий в области электропривода.

А. И. Товстопалов, А. Т. Голован, Д. П. Морозов

## РЕФЕРАТЫ

Langlois-Berthelot. Проблема определения нормальной мощности электрических машин. *RGE m XLIV, № 17, сентябрь, стр. 527 и № 18, 5 ноября, стр. 559, 1938.*

В реферруемой статье инж. R. Langlois-Berthelot трактует вопрос о мощности электрической машины в эксплуатационной точке зрения ее долговечности.

Электрическая машина имеет различные возможные мощности, определяемые различными факторами, как-то: механической прочностью, устойчивостью, нагрев, явления коммутации (в машинах постоянного тока), падение напряжения или колебания и т. д.

Величина и продолжительность требующейся перегрузки являются теми факторами, которые определяют «нормальную» мощность машины.

Автор останавливается на вопросе о «термической» предельной мощности, которую сложнее всего определять.

Затем, какие потери имеют место в электрических машинах, и подчеркивая, что под температурой окружающего воздуха следует иметь в виду его естественную температуру, того, как он подвергнется нагреву от самых потерь, автор переходит к основной части вопроса — кризису электрической машины в функции от температуры.

Повышенное воздействие температуры повреждает изоляцию, разрушает ее.

Важнейшая изоляция (хлопчатобумажная пряжа, шелк, бумага) сначала теряет свою эластичность, затем становится хрупкой, наконец, желтеет и чернеет, т. е. обугливается. Мера старения изоляции следует искать в потере ее

механической прочности и эластичности, которые могут определяться количественно величиной сопротивления изоляции разрыву.

Кривая жизни изоляции  $T = f(\theta)$  дает для каждой данной температуры время, необходимое для снижения сопротивления разрыву до предельного значения. Подвергшись воздействию данной температуры в течение времени, большего, чем предельное по кривой жизни, изоляция по своему физическому состоянию является уже непригодной. Эти свойства различных изолирующих материалов с указанной точки зрения стали известны лишь в последнее время.

С 1913 до 1921 г. допускали по указаниям Ламма, что кривая жизни представляет вполне определенную асимптоту, параллельную оси времени.

Впоследствии были предприняты многочисленные лабораторные испытания; эти испытания устанавливали значения сопротивления разрыву различных изоляционных материалов, подвергавшихся воздействию определенных температур в течение определенных промежутков времени.

Некоторые экспериментаторы установили, что существует определенное соотношение между сопротивлением разрыву и уменьшением веса изоляции, являющимся следствием того, что под действием температуры изоляция химически разлагается.

Это уменьшение веса достигает, например, до 10% для манильской бумаги, когда ее сопротивление разрыву снижается до вышеупомянутого предельного значения, характеризующего разрушение изоляции как таковой.

Эти опыты позволили, наконец, установить, что кривая

жизни представляется экспоненциальной кривой, имеющей своей асимптотой ось температур и выражающейся уравнением формы:

$$t = a \cdot e^{-b\theta} \quad (1)$$

Эта кривая обладает тем свойством, что для приращения температуры<sup>1</sup>

$$\Delta\theta = \frac{0,69}{b}$$

продолжительность жизни (срок службы) сокращается вдвое.

Значение параметра  $\Delta\theta$  характеризует „наклон“ начерченной на полулогарифмической сетке прямой (1).

Автор статьи предлагает принять для пропитанной бумаги и хлопчатобумажной пряжи круглое число  $\Delta\theta = 10^\circ$ . Это число, говорит автор, в достаточной мере подтверждается многочисленными испытаниями<sup>2</sup>.

Слюдяная или асбестовая изоляция поддается воздействию лишь весьма сравнительно высоких температур порядка  $500^\circ$ , но эти изолирующие материалы применяются в соединении с некоторым количеством чувствительной к температуре органической материи, необходимой для обеспечения плотного прилегания изоляции к проводнику.

Экспоненциальный закон старения, выраженный формулой (1), применим, таким образом, и для этого рода изоляции, причем и для нее  $\Delta\theta = 10^\circ$ .

Опыт, полученный на большом числе машин в эксплуатации, позволил установить предельную температуру  $\theta_1$ , признанную допустимой для обеспечения машины в нормальной эксплуатации нормального срока службы в 15—20 лет.

Эта температура  $\theta_1$  указана для различных изоляционных материалов в следующих цифрах:

Хлопчатобумажная пряжа, бумага, шелк пропитанные . . . . .	105°
Эмалированный провод . . . . .	115°
Слюда асбест . . . . .	125°
Бакелизированные обмотки . . . . .	150°

„Уточним, — говорит автор, — что следует понимать под нормальной эксплуатацией машины“.

На практике всякая машина обыкновенно подвергается:

1. Попеременным включениям в работу и остановкам (весьма редко машина бывает в работе круглые сутки на протяжении всего года).

2. Изменениям нагрузки в течение рабочего периода (редко машина работает с совершенно постоянной нагрузкой).

3. Суточным и сезонным изменениям окружающей температуры, влияющим соответственно на температуру машины.

Указанные в вышеприведенной таблице максимальные температуры, которые не должны быть превзойдены, для того чтобы обеспечить машине нормальный срок службы, были установлены в обычных, только что охарактеризованных условиях эксплуатации; эти условия, следовательно, ни в коем случае не соответствуют тому нормальному и исключительному случаю, когда температура изоляции поддерживается постоянно равной этому максимальному значению.

Автор предлагает принять как установленный опытом факт, что нормальная жизнь машины в эксплуатации эквивалентна непрерывной двухлетней (17 000 h) работе при упомянутой выше температуре.

Исходя из указанных выше предельных температур.— $105^\circ$  для органической волокнистой изоляции и  $125^\circ$  для слюды и асбеста, принимая во внимание, что срок непрерывной службы при этих температурах равен двум годам, что  $\Delta\theta = 10^\circ$ , т. е., что каждое превышение температуры на  $10^\circ$  сокращает срок службы вдвое, автор устанавливает таблицу кривых жизни изоляции двух категорий.

Автор отмечает, между прочим, что он ограничил таблицу температурой  $235^\circ$  по соображениям не старения изоляции, а потому, что, во-первых, при температурах порядка  $250^\circ$  и

<sup>1</sup> Действительно, выразим уравнением, что при температуре  $\theta + \Delta\theta$  срок службы равен:

$$\frac{t}{2} = a \cdot e^{-b(\theta + \Delta\theta)} = a \cdot e^{-b\theta} \cdot e^{-b\Delta\theta} = t \cdot e^{-b\Delta\theta},$$

откуда:

$$e^{-b\Delta\theta} = \frac{1}{2}; \quad \Delta\theta = \frac{0,69}{b} \quad \text{— Л. Ш.}$$

<sup>2</sup> По Монтзингеру и Никольсу  $b = 0,088$ , откуда  $\Delta\theta \cong 8^\circ$  (см. „Электричество“ № 1 в 12, 1936 г.).

Срок службы	Температура $\theta^\circ\text{C}$	
	хлопчатобумажная пряжа, бумага — пропитанные	слюда, асбест
8 лет . . . . .	85	105
4 года . . . . .	95	115
2 „ . . . . .	105	125
1 год . . . . .	115	135
6 мес. . . . .	125	145
3 „ . . . . .	135	155
1,5 „ . . . . .	145	165
500 час. . . . .	155	175
250 „ . . . . .	165	185
125 „ . . . . .	175	195
60 „ . . . . .	185	205
30 „ . . . . .	195	215
15 „ . . . . .	205	225
7 „ . . . . .	215	235
200 мин. . . . .	225	235
100 „ . . . . .	235	235

выше разрушающее напряжение самой меди резко повышается, потому, что  $200 \div 235^\circ$  являются уже температурами плавления материала, применяемого для пайки.

Пользуясь табл. 1, можно оценивать износ машин в различных режимах.

Так, пусть  $t_1, t_2$  — промежутки времени, в течение которых машина работает при температурах соответственно  $T_1, T_2$ . Следовательно, износ в процентах за время выразится через:

$$100 \cdot \left( \frac{t_1}{T_1} + \frac{t_2}{T_2} \right).$$

**Пример.** Пусть машина с изоляцией класса А по следующему циклу: 10% времени при  $150^\circ$ , 25% при  $175^\circ$  и 65% времени при  $80^\circ$ .

Так как согласно табл. 1 сроки службы при  $105^\circ$  составляют соответственно 2, 8 и 12 лет, то срок машины при вышеуказанном режиме составит:

$$\frac{100}{\frac{10}{2} + \frac{25}{8} + \frac{65}{12}} = 7,4 \text{ года.}$$

Исходя из вышеизложенных соображений, можно также для определенного режима работы машины оценить срок службы и вообще рационально использовать оборудование.

Автор далее подчеркивает, что, устанавливая при температуре и предельные превышения температур машины над температурой окружающей среды уточняют: „Превышения температуры над температурой окружающей среды не должны превышать установленных значений даже тогда, когда предельная температура не достигнута“.

Режим работы, основанный на предельной (очень заманчивой, так как позволял бы пережить, когда, например, температура окружающей среды ниже условно нормированной), недопустим. Дольшие температуры нагрева, нормы не являются реальными условиями эксплуатации, т. е., что температура воздуха изменяется, нагрузка колеблется, имеют место и остановки машины.

В заключение автор говорит, что заводы-изготовители машин для вполне определенных условий работы должны уметь выбирать в каталогах машину, подходящую для своих особых требований. Должен знать, что если требующаяся ему машина назначается для непрерывной работы при полной и при максимальной окружающей температуре, то срок службы машины будет сокращен. Для возможности же использования машины в нормальном режиме потребитель должен смотреть соответственно большую номинальную температуру. Наоборот, для остановки, например, в поме-

температурой воздуха можно предусмотреть машину меньшей мощности. Действую приведёнными в статье соображениями, и автор, инженер в своей повседневной практике принимать решения вполне обоснованные, а не по

Л. М. Шницер

Wickler L. H. Пираноловые трансформаторы на железном сердечнике. *El. Engineer. № 8, август, стр. 160, 1938.*

Трансформаторы и моторвагоны переменного тока известны, в ряде случаев установки на них масляных трансформаторов. Применение для этих обычных масляных трансформаторов нежелательно из-за возможной воспламеняемости масла. Установка трансформаторов с воздушной изоляцией вызывает эксплуатационные расходы, так как содержащаяся в воздухе сырость, пыль и грязь разрушают изо-

в результате многих лет исследования фирма GEC разработала новую синтетическую жидкость, «пиранол». Эта жидкость обладает всеми положительными качествами обычного изоляционного масла, включая и высокую электрическую крепость как при нормальной частоте, так и при импульсах, устойчивость, низкую точку замерзания, низкую вязкость, невоспламеняемость, неокисляемость и невязываемость. К настоящему времени установлено более 1400 пираноловых трансформаторов на общую мощность более 400 000 kVA.

Эти трансформаторы имеют термосифонное охлаждение с помощью пиранола, протекающим через охлаждающие каналы естественной циркуляции. Горячий пиранол, идя по наружной поверхности охлаждающих труб, нагревается потоком воздуха, проходящим через эти трубы. В больших трансформаторах горячий пиранол подается еще более усиленному охлаждению. При этом достигается равномерного нагрева трансформаторов и отсутствия горячих мест. Это удлиняет срок службы трансформаторов и позволяет допускать значительные кратковременные перегрузки.

М. Д. Трейзас

Wickler. Трехфазные двигатели с короткозамкнутым ротором для одиночного привода рабочих рольгангов. *Mitt. № 10, октябрь, стр. 482—489, 1938.*

Автор рассматривает работу двигателей с короткозамкнутым ротором для рольгангов при большом числе включений и указывает, что фирмой AEG изготовлены такие двигатели в ряде случаев со специальной теплостойкой изоляцией (Apyrol-Isolation).

Число допустимых включений в час для одного двигателя зависит, как часто этот двигатель может ускорять собственные маховые массы. Так как двигатель должен ускорять дополнительные массы исполнительного механизма, то время нагрева его удлиняется, в соответствии с чем увеличивается и нагрев его. Нагрев при этом, естественно, зависит от величины ускоряемых маховых масс.

Время нагрева самого двигателя автор называет постоянной ускорения  $D^1$ , которая имеет размерность  $\text{kgm}^2/\text{h}$ .

Сканируя распределение потерь в двигателе, автор приходит к следующему выражению для общих тепловых потерь в роторе:

$$W_A = \frac{GD^2}{375 \cdot 975} \left[ n_s(n_2 - n_1) - \frac{1}{2}(n_2^2 - n_1^2) \right], \quad (1)$$

— общие потери в роторе в kW·sec;  $GD^2$  — маховая инерция ротора двигателя;  $n_s$  — синхронная скорость;  $n_1$  — начальная скорость;  $n_2$  — конечная скорость.

Если  $n_1 = 0$  и  $n_2 = n_s$ , то выражение (1) принимает вид

$$W_A = \frac{1}{2} \frac{GD^2 n_s^2}{366000} \quad (2)$$

и в дальнейшем принятые автором условные обозначения заменены принятыми у нас, в СССР, обозначениями.

и представляет собой потери в роторе при разгоне двигателя из неподвижного состояния до синхронной скорости.

Но кинетическая энергия вращающихся масс  $A$  будет:

$$A = \frac{1}{2} \frac{GD^2 n_s^2}{3600} \text{ kgm} = \frac{1}{2} \frac{GD^2 n_s^2}{365000} \text{ kWsec}. \quad (3)$$

Таким образом тепловые потери в роторе равны кинетической энергии вращающихся масс, т. е.

$$W_A = A. \quad (4)$$

Для определения потерь при торможении противовключением —  $W_0$  в уравнение (1) подставляют  $n_1 = -n_s$  и  $n_2 = 0$ , тогда

$$W_0 = \frac{3}{2} \frac{GD^2 n_s^2}{366000} \text{ kWsec} = 3 W_A. \quad (5)$$

При реверсировании от  $n_1 = -n_s$  до  $n_2 = n_s$  будет

$$W_R = 4 W_A. \quad (6)$$

В рабочих рольгангах двигатель чаще всего не разгоняется до его синхронного числа об/мин, а отключается несколько раньше, т. е. он разгоняется до скорости  $an_s$  (где  $a < 1$ ), затем отключается от сети, при этом число об/мин снижается до  $b \cdot n_s$  (где  $b < 1$ ), и от скорости  $b \cdot n_s$  двигатель тормозится противовключением до  $n_2 = 0$ .

Автор приводит ряд кривых  $Z = f(GD^2)$  для ряда двигателей фирмы AEG и указывает, что число включений в час для отдельных типов двигателей достигает 1200 при  $n_s = 750$  об/мин;  $GD^2 = 3 \text{ kgm}^2$  и  $M_{\max} = 26 \text{ kgm}$  и до 1900 при  $n_s = 200$  об/мин,  $GD^2 = 42 \text{ kgm}^2$  и  $M_{\max} = 30 \text{ kgm}$ .

Пользуясь уравнением

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2}{\frac{s}{s_{\max}} + \frac{s_{\max}}{s}},$$

где  $M$  — вращающий момент двигателя;  $M_{\max}$  — опрокидывающий момент двигателя;  $s$  — скольжение, соответствующее вращающему моменту двигателя;  $s_{\max}$  — скольжение, соответствующее опрокидывающему моменту двигателя, автор строит ряд кривых  $M = f(s)$  для значений  $s_{\max} = 20, 40$  и 100% при неизменном  $M_{\max} = 7,5 \text{ kgm}$ . Обычно стремятся двигатели рольгангов питать от общезаводской сети, т. е. током частотой 50 пер/сек. Для того чтобы получить требуемое процессом число об/мин, у тихоходных рольгангов либо применяют механическую передачу между двигателем и рольгангом либо устанавливают многополюсный двигатель и питают его током пониженной частоты. В последнем случае необходим соответствующий преобразователь частоты. Так как в уравнении (9) (в правой части его) синхронная скорость  $n_s$  входит в знаменатель в квадрате, то при понижении частоты (а следовательно, и  $n_s$ ) сильно возрастает значение  $D$  при неизменном значении  $GD^2$ , т. е. увеличивается допустимое число включений в час. Согласно указаниям автора при питании 12-полюсного двигателя током частоты  $16\frac{2}{3}$  пер/сек допустимое число включений в час возрастает теоретически в 9 раз, практически в 6 раз по сравнению со случаем питания этого же двигателя током частоты 50 пер/сек.

Автор указывает, что такой преобразователь частоты необходим для рольгангов ножных, особенно роторных, перед барабаном для наматывания ленты с целью установления синхронности хода между валками и рольгангами.

Для снижения потерь, получающихся при торможении противовключением, автор указывает на возможность торможения постоянным током, при котором потери вдвое меньше, чем при торможении противовключением, и приводит следующий пример: двигатель имеет  $D \approx 8000 \text{ kgm}^2/\text{h}$ ,  $GD^2 = 8 \text{ kgm}^2$ , и, следовательно, допустимое число включений в час будет 1000. Таким образом при торможении противов-

включением возможны только  $\frac{1000}{1+3} = 250$  реверсов в час, т. е. 250 пусков и 250 торможений. В случае же торможения постоянным током возможны  $\frac{1000}{1+1,5} = 400$  реверсов в час, т. е. 400 пусков и 400 торможений постоянным током в час.

М. И. Зильберман





Рис. 1

Philip I. Croft. Автоматическая гЭС Мэккензи. *Electrical News and Engineering* № 1, 1939; *Modern Power and Engineering* № 12, 1938.

Большая канадская приплотинная гЭС Мэккензи на р. Игль мощностью 1500 НР удачно сочетает применение новейших технических усовершенствований с большой простотой выполнения. ГЭС Мэккензи совместно с другими тремя небольшими гЭС питает бумажную фабрику Дрейден по линии электропередачи напряжением 33 kV. Единственный агрегат гЭС Мэккензи может рассматриваться как управляемый на расстоянии дополнительный агрегат, принадлежащий гЭС Игль-ривер, расположенной выше по течению реки. Регулирование мощности гЭС осуществляется, исходя из сохранения постоянства уровня верхнего бьефа, колебания которого удерживаются в пределах около 3 см.

В этих условиях эксплуатации, с целью иметь высокий к. п. д. при неполной нагрузке применена вертикальная турбина типа Каплана с автоматически поворачивающимися лопатками, развивающая 1400 НР при  $n = 240$  об/мин;  $H = 7,9$  м и  $Q = 17$  м<sup>3</sup>/сек. Непосредственно соединенный с турбиной трехфазный генератор развивает мощность 1400 kVA при  $\cos \varphi = 0,8$ , 2400 V и 60 Hz. Все операции пуска агрегата, включая синхронизацию и присоединение к линии, совершаются в течение 80 сек. После этого с помощью регулятора турбины агрегат нагружается на некоторую мощность, зависящую от интенсивности притока воды к гЭС.

Изменение по вертикали положения поплавка в верхнем бьефе на 15 см достаточно для того, чтобы вызвать движение механизма направляющего аппарата от полного закрытия до полного открытия. В случае аварийного отключения гЭС Игль-ривер агрегат гЭС Мэккензи первоначально автоматически полностью нагружается, принося на себя всю нагрузку на срок около 2 ч до некоторой предельной сработки верхнего бьефа, после чего он также автоматически отключается. ГЭС Мэккензи начата сооружением в июле 1937 г. и закончена в августе 1938 г. с перерывом в строительстве на 5 мес.

Н. А. Караулов

Гидроэлектрическая установка Женессиа. *The Engineer* № 4329, 1938.

На р. Роне, в 30 км к юго-западу от Женевы, на территории Франции с 1936 г. ведется строительство гЭС Женессиа, являющееся первым этапом выполнения обширной программы реконструкции названной реки. ГЭС Женессиа интересна в том отношении, что принятая схема размещения ее сооружений и оборудования почти точно повторяет известную гЭС Болдер-Дэм на р. Колорадо (США). В узком и глубоком каньоне, расположенном

плотными известняками мелового возраста, сооружена бетонная правитационная плотина высотой 110 м, создающая водохранилище полезной емкостью 52 млн. м<sup>3</sup>, что соответствует 1800 млн. kWh аккумулярованной гидроэнергии. Окончательная мощность гЭС Женессиа составит 416 MW при расходе воды 800 м<sup>3</sup>/сек (с учетом расхода воды на верхнего бьефа на высоту 5 м и при напоре в 73 м). ГЭС будет оборудована восемью агрегатами, установленными в двух машинных зданиях при мощности одной турбины 82 000 НР и генератора 60 000 кВт. В средний по водоносности год гЭС Женессиа будет вырабатывать 1800 млн. kWh, из которых 1000 млн. kWh может быть получено при работе гЭС 8 ч в сутки полной мощностью. В первую очередь устанавливаются 4 агрегата общей мощностью 220 MW, которые вырабатывать в год 1450 млн. kWh. Следует отметить также необычайное сооружение не менее чем 100-метрового шлюза для преодоления речными судами высокого концентрированного перепада в 73 м. Предполагается, что гЭС Женессиа будет введена в эксплуатацию в 1943 г.

Н. А. Караулов

Paschke. Новая схема кнопочного управления лифтов. *ETZ* № 27, 7 июля, стр. 715—717, 1938.

Применявшаяся до настоящего времени схема управления лифтом для многоэтажных зданий получалась весьма сложной, так как требовала большого числа этажных и многожильного подвешного кабеля. Предлагаемая построенная на принципе мостика Уитстона, весьма простая система управления и дает большую экономию в количестве материала. Кабель, связывающий клеммы

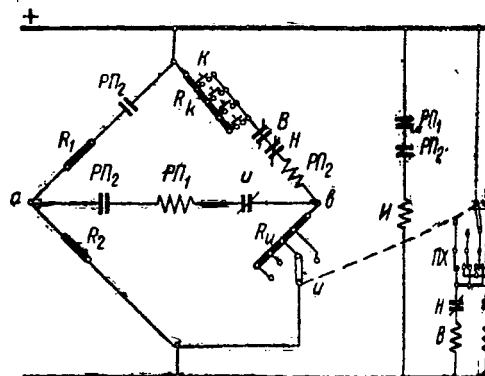


Рис. 1

ис кабиной независимо от числа этажей, имеет всего лишь 6 В одно из плеч мостика включен искатель И, при-  
 жимый на автоматических телефонных станциях, каждое  
 плечо которого соответствует определенному этажу.  
 Плечение искателя происходит при нажатии этажной  
 кнопки. Вследствие протекания тока через катушку реле РР<sub>1</sub>  
 рычаг нарушения равновесия плеч моста.

Вследствие управления происходит в следующей последова-  
 тельности. При нажатии кнопки К, соответствующей какому-  
 одному этажу, возникает ель: часть сопротивления R<sub>к</sub>, кноп-  
 блокконтакты контакторов вверх и вниз (В и Н),  
 катушечное реле РР<sub>2</sub>, часть сопротивления K<sub>и</sub>, иска-  
 тель. При замыкании контактов реле РР<sub>2</sub> создается схема  
 типа Уитстона. Вследствие отсутствия равновесия плеч  
 через катушку реле РР<sub>2</sub> будет протекать соответ-  
 ственной силы ток, и его контакты включат катушку иска-  
 теля. В результате этого рычаг искателя начнет перемещаться  
 и обратит свое движение только тогда, когда наступит  
 весна моста, т. е. когда он займет положение, соответ-  
 ствующее тому же этажу, как и нажатая кнопка. При этом  
 диал точек а и б сравняется, и реле РР<sub>1</sub> разомкнет  
 контакты, вследствие чего катушка искателя также  
 будет отключенной. Реле РР<sub>2</sub> отключится после включе-  
 ния контакторов. С рычагом искателя связан пол-  
 этажного переключателя ЭП, который также будет  
 ещен на контакт, соответствующий выбранному этажу.  
 В зависимости от положения переключателя направления  
 лифта ЛХ, установленного в том этаже, куда направ-  
 лена кабина, включится контактор „Вверх“ или „Вниз“  
 Н). По достижении требуемого этажа переключатель  
 займет центральное положение, и цепь контактора будет ра-  
 зорвана.

Аппаратура, выполненная по описываемой схеме, в эксплоа-  
 тации оказалась весьма надежной и выдержала 15000 вклю-  
 чений в течение 2 мес. Вся аппаратура, взятая из телефо-  
 нной лаборатории, работала безотказно. Питание цепей управле-  
 ния осуществляется от купроксного выпрямителя.

Ю. А. Сабинин

Fogel. Коронное напряжение под маслом макетов  
 ли трансформаторов *El. Eng.*, январь, стр. 34—36,  
 сентябрь, стр. 531—534, 1938.

на и неполные разряды в масле вдоль поверхности  
 приков вызывают их повреждение, могущее при-  
 вести к аварии, поэтому знать напряжение возникновения  
 процессов очень важно. Статьи дают описание ис-  
 следований конструкций барьерного типа и результаты

взятая серия испытаний. Изоляция была  
 выполнена в виде барьеров общей толщиной 57, 108,  
 1. Для имитации условий трансформатора был при-  
 добавочный масляный канал в 6,3 мм между верх-  
 ним электродом и барьером. Барьер представлял собой  
 овальное включение масляных промежутков и  
 диэлектриков, причем макет катушки был обмо-  
 толен изоляцией. Электродами служили макет четырех-  
 оидной катушки и плоскость. Температура масла со-  
 ставляла 70°. Опыт состоял в определении пробной силы  
 между верхним электродом и барьером. Было  
 проведено всего две серии опытов. При первой специ-  
 альной прокатке изоляции под вакуумом не было произ-  
 вожено, и испытания показали на значительное неблаго-  
 приятное влияние воздуха, находящегося у изоляции.  
 Вследствие подъема напряжения коронное напряжение  
 было значительно меньше, чем удалось получить после  
 удаления воздуха постукиванием с одновременным прило-  
 жением напряжения. Поэтому была поставлена вторая  
 серия опытов с аналогичными барьерами, но пропе-  
 нными под вакуумом. При этом оказалось, что изоляция  
 приобретает полную прочность. Таким образом  
 испытания показали на большую эффективность за-  
 щиты трансформатора маслом под вакуумом, т. е.  
 что нет риска повредить изоляцию при испытаниях.  
 Результаты показали, что коронное и пробное напряжения  
 пропорционально  $\frac{2}{3}$  степени расстояния между  
 электродами. Для ориентировки укажем, что для барьера,  
 изготовленного под вакуумом, были получены следую-  
 щие значения. Для барьеров, пропитанных под маслом,  
 коронное и пробное напряжения при 60 Hz совпали  
 с данными значениями (таблицы). Коэффициент импульса  
 был равен 2,1—2,3.

Расстояние между электродами mm	Коронное напряжение kV <sub>eff</sub>	Максимум выдержало kV <sub>eff</sub>
50	120—160	210
100	180—250	330
200	300—390	550

Вторая из реферируемых статей дает результаты опы-  
 тов по прочности изоляции трансформатора на острых  
 краях. Расчеты L. Dreyfus<sup>1</sup>, произведенные методом  
 конформных преобразований в предположении, что про-  
 бивная прочность зависит от градиента и расстояний, на  
 которых он действует, показали, что на острых краях  
 пробивная прочность должна меняться пропорционально  
 разному степеням расстояния между электродами в зави-  
 симости от угла раскрытия кромок. В частности, для  
 устройства, описанного выше, было найдено, что пробой  
 должен происходить пропорционально  $\frac{2}{3}$  степени искро-  
 вого промежутка, что, как мы видели, и совпало с опы-  
 том.

Поскольку была показана правильность расчетов  
 Dreyfus, мы получаем ценный расчетный способ для  
 расчетного анализа. Для примера на рис. 1 построены  
 расчетные кривые для некоторых простейших случаев.  
 Из рис. 1 видно, например, что для стержневого  
 трансформатора бесполезно делать расстояние до ядра  
 большим 3-кратного расстояния между обмотками, в то  
 время как для бронированного трансформатора может  
 оказаться желательным держать расстояние до железа и  
 между обмотками одинаковым.

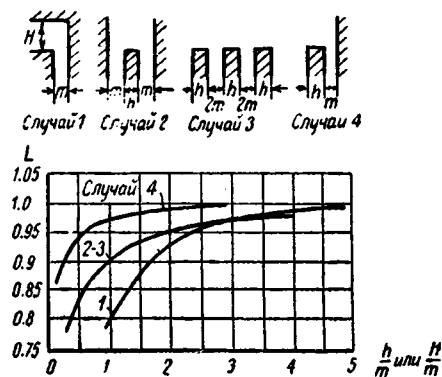


Рис. 1. Влияние формы поля на пробой масла на острых  
 краях,  $U = L U_0$  для случаев 1, 2 и 4;  $U = 2 L U_0$  для слу-  
 чая 3, где  $U_0$  представляет пробивное напряжение между  
 четырехугольником и плоскостью

Таким образом, производя подробные исследования для  
 одного рода устройства с острыми краями, возможно  
 расчетом перенести результаты этих опытов и на другие  
 устройства.

Е. В. Калинин

Новый выключающий механизм для переменного тока.  
*El. Times* № 2451, 1938.

В новых выключателях «Wylex» на 5 и 15 А,  
 Choles & Co, предназначенных для осветительной проводки  
 в помещениях, достигнут медленный разрыв с укорочен-  
 ной длиной дуги. Размеры этих выключателей значитель-  
 но меньше, чем обычных. В каждом выключателе  
 имеются только две подвижные части, одна из которых  
 может быть заменена непосредственно на месте уста-  
 новки. Контакты покрыты серебром. Испытания показали  
 большую устойчивость и длительный срок службы вы-  
 ключателей. В частности, по отношению к выключателю

<sup>1</sup> Arch. f. El. т. 13, 1924, стр. 123.

на 15 А были получены следующие результаты: при перегрузке в 30 А не было обнаружено какого-либо повреждения после 1000 операций (выключений); нагрузка в 18 А разрывалась 24 000 раз без повреждения контактов. Повышение температуры контактов при полной нагрузке было менее 6°.

Н. А. Шостын

Bohn D. I. and Gutzwiller. Выпрямители на американских алюминиевых заводах. *El. World*, т. 110, № 23, декабрь, стр. 41—44, 1938.

Электроэнергия постоянного тока является одним из видов «сырья», требуемого в большом количестве при электролитическом восстановлении алюминия. Поскольку преобразование переменного тока в постоянный увеличивает стоимость выпускаемой алюминиевыми заводами продукции, необходимо подходить к выбору наилучшего типа преобразователя с осторожностью.

Тщательное сравнение между собой мотор-генераторов, однокорных преобразователей и ртутных выпрямителей с точки зрения изучения величины капитальных затрат на 1 kW нагрузки, стоимости эксплуатации, к. п. д.,  $\cos \varphi$ , регулирования напряжения и нагрузки и т. д. показало, что последний вид преобразователей является наилучшим.

В США были построены две больших ртутно-выпрямительных станции, из коих одна в Алсоа обладает мощностью в 55 000 kW. На описываемой станции установлены 10 двухбачковых выпрямителей с управляющими сетками по 5500 kW каждый. Каждый бак выпрямителя с номинальной силой тока в 4583 А при 600 V имеет 12 анодов; два бака подсоединяются к одному масляному трансформатору мощностью 6310 kVA, первичная обмотка которого (13 200 V) соединена или в звезду или в треугольник. Схема соединений трансформатора со вторичной стороны состоит из четырех шестифазных систем (при фазовом напряжении 562 V), подсоединенных к четырем междофазовым трансформаторам, встроенным в общий бак с главным трансформатором. Последние подсоединяются к 13,2-kV станционным шинам через 23 kW, 150 000 kVA масляные выключатели. Два 154-kV ввода подходят к двум понижающим трансформаторам по 42 000 kVA (154/13,2 kV), вторичная обмотка которых и подсоединена к станционным сборным шинам. Все оборудование, кроме выпрямителей, установлено на открытой части.

Со стороны постоянного тока установка защищена быстродействующими 6000-А выключателями. Станция электрически разделена на две части (по пяти трансформаторов), соединяемых между собой на положительной шине постоянного тока 20 000-А выключателем.

При параллельной работе обеих частей работают 20 выпрямителей с нормальной нагрузкой в 90 000 А при 54 000 kW. Регулирование нагрузки и напряжения индивидуальное для каждой выпрямительной единицы или групповое производится управляющими сетками при уменьшении напряжения только на 5% в целях ограничения ухудшения  $\cos \varphi$  системы.

Защита выпрямителей от обратных зажатий производится сеточной защитой; со стороны постоянного тока выпрямитель, давший обратное зажатие, отключается упомянутым уже быстродействующим выключателем. Время срабатывания его (почти то же, что и у быстродействующего сеточного реле), составляет приблизительно 0,0125 sec. За это время ток все же успевает возрасти до 35 000 А.

Так как в системе переменного тока подключение выпрямительных агрегатов вызывает появление высших гармонических тока, влияющих на линии связи, то во избежание их на станции Алсоа применен метод смещения фаз. С этой целью первичная обмотка трех силовых трансформаторов каждой половины станции соединена в звезду, а двух других — в треугольник, или наоборот. Этим избегаются все гармоники ниже одиннадцатой. Применением четырех фазосмещающих автотрансформаторов — двух на 6 и двух на 12 градусов — достигается

система эквивалентная 30-фазной, при которой все гармоники ниже 29-й практически уничтожаются. При параллельной работе обеих половин станции все гармоники ниже 59-й. Один из выпрямительных агрегатов каждой половины станции не имеет фазового трансформатора, и для увеличения импеданса цепи применен реактор с железным сердечником, помещаемый перед силовым трансформатором.

М. Д. Трд

Н. Н. Wicht. Счетная линейка для сложения векторов. *ETZ* № 41, 13 октября, стр. 1093—1095, 1938.

Предлагаемая счетная линейка дает возможность без числений выполнить сложение векторных величин, кроме того, позволяет осуществлять преобразование тригонометрических чисел из одной формы в другую. В основу линейки для определения результирующего вектора положено деление сторон косоугольного треугольника, преобразованное к виду

$$\left(\frac{c}{a}\right)^2 = 1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2 + 2\frac{b}{a} \cos \varphi,$$

где  $a$  и  $b$  — суммируемые векторные величины;  $\varphi$  — угол сдвига между ними.

Счетная линейка имеет следующие шкалы: две обычные логарифмические шкалы  $B$  и  $C$  для определения величины  $\frac{b}{a}$ , расположенные на нижнем пазу; шкала  $E$  находящаяся на движке, служащая для умножения на равномерная шкала  $F$ , расположенная на верхней части

равномерная шкала  $F$  для суммы  $\left(1 + \frac{b}{a}\right)^2$ , на которой проставлены цифры, соответствующие величине  $\frac{c}{a}$ ; тригонометрическая шкала  $\varphi$  для суммы  $1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2 + 2\left(\frac{b}{a}\right) \cos \varphi$ , делениями, соответствующими величине  $\frac{c}{a}$ ; шкала  $\cos \varphi$  на движке.

Определение модуля результирующего вектора производится на следующие последовательные операции.

1. Пользуясь шкалами  $B$  и  $C$ , определяется величина  $\frac{b}{a}$ .

если  $\frac{b}{a} > 1$ , то определяется обратная величина  $\frac{a}{b}$ . В дальнейшем линейка дает значение  $\frac{c}{b}$ , а не  $\frac{c}{a}$ . Делится произведение  $2\frac{b}{a} \cos \varphi$  при пользовании шкалами  $B$  и  $C$  и шкалой  $D \cos \varphi$ .

3. Подставляя деление шкалы  $E$  к делению шкалы  $F$ , соответствующее величине  $\frac{b}{a}$  (или  $\frac{a}{b}$ ), и устанавливая черту деления шкалы  $E$ , соответствующем  $2\frac{b}{a} \cos \varphi$  (или  $2\frac{a}{b} \cos \varphi$ ), по шкале  $F$ , определяют величину дроби  $\frac{c}{a}$  или  $\frac{c}{b}$ .

Если  $90 < \varphi < 180$ , то для определения  $\cos \varphi$  по шкале  $\varphi$ , определяют величину дроби  $\frac{c}{a}$  или  $\frac{c}{b}$ , перенося найденное значение на шкалу  $B$  и умножая (или  $b$ ), определяют искомую величину  $c$ .

Если  $90 < \varphi < 180$ , то для определения  $\cos \varphi$  по шкале  $\varphi$ , определяют величину дроби  $\frac{c}{a}$  или  $\frac{c}{b}$ , перенося найденное значение на шкалу  $B$  и умножая (или  $b$ ), определяют искомую величину  $c$ .

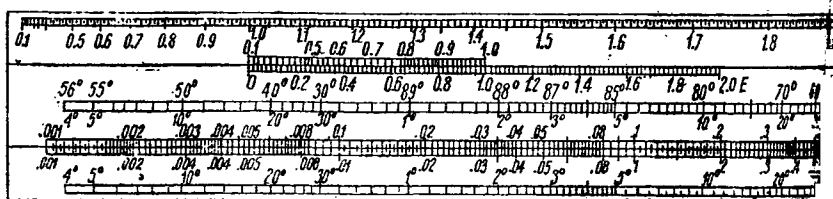
Если  $90 < \varphi < 180$ , то для определения  $\cos \varphi$  по шкале  $\varphi$ , определяют величину дроби  $\frac{c}{a}$  или  $\frac{c}{b}$ , перенося найденное значение на шкалу  $B$  и умножая (или  $b$ ), определяют искомую величину  $c$ .

Если  $90 < \varphi < 180$ , то для определения  $\cos \varphi$  по шкале  $\varphi$ , определяют величину дроби  $\frac{c}{a}$  или  $\frac{c}{b}$ , перенося найденное значение на шкалу  $B$  и умножая (или  $b$ ), определяют искомую величину  $c$ .

Если  $90 < \varphi < 180$ , то для определения  $\cos \varphi$  по шкале  $\varphi$ , определяют величину дроби  $\frac{c}{a}$  или  $\frac{c}{b}$ , перенося найденное значение на шкалу  $B$  и умножая (или  $b$ ), определяют искомую величину  $c$ .

Если  $90 < \varphi < 180$ , то для определения  $\cos \varphi$  по шкале  $\varphi$ , определяют величину дроби  $\frac{c}{a}$  или  $\frac{c}{b}$ , перенося найденное значение на шкалу  $B$  и умножая (или  $b$ ), определяют искомую величину  $c$ .

Если  $90 < \varphi < 180$ , то для определения  $\cos \varphi$  по шкале  $\varphi$ , определяют величину дроби  $\frac{c}{a}$  или  $\frac{c}{b}$ , перенося найденное значение на шкалу  $B$  и умножая (или  $b$ ), определяют искомую величину  $c$ .



$\frac{b}{a}$ , подводится не нулевое деление шкалы  $E$ , а деление, соответствующее значению  $2 \frac{b}{a} \cos(180 - \varphi)$ , и величина  $\frac{c}{a}$  прочитывается на шкале  $\varphi$  против ее нулевого деления. Так же с помощью линейки по уравнению синусов

$$\sin \gamma = \frac{b}{c} \sin \varphi$$

можно определить угол  $\gamma$ , составленный результирующим вектором и одним из составляющих. Для этой цели используется логарифмическая шкала  $\sin \alpha$ .

С помощью шкал  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ , кроме того, возможно производить преобразование комплексных чисел из алгебраической формы в показательную и обратно.

Если комплексное число дано в виде  $g + j b$  и требуется определить его в форме  $R e^{j \psi}$ , то первоначально определяется угол  $\psi$ . Разделив меньшее составляющее на большее ( $b$  на  $g$  или  $g$  на  $b$ ), определяют  $\operatorname{tg} \psi$  или  $\operatorname{tg}(90 - \psi)$ , а затем, сдвигая движка, передвигают визир до тех пор, чтобы значение угла  $\psi$  под его чертой по шкалам  $A$  и  $D \cos$  совпало. Это и будет искомое значение  $\psi$ .  $R$  определяется по формуле

$$R = \frac{h}{\sin \psi} = \frac{g}{\sin(90 - \psi)}.$$

При этом используется шкала  $D_{\sin}$  или  $D_{\cos}$ .

Если даны  $R$  и  $\psi$ , то величины  $b$  и  $g$  определяются по уравнениям

$$h = R \sin \psi; \quad g = R \cos \psi.$$

Если логарифмические шкалы  $B$  и  $C$  взяты трехдекадными нормальной длины декады 12,5 см, то общая длина линейки получается  $\sim 40$  см. Шкала  $\cos$  при этом охватывает часть от 0 до  $89^\circ 56'$ . Если же линейку сделать нормальной длины 29,5 см, то шкалы  $B$  и  $C$  должны быть двухдекадными, шкала  $\cos$  будет охватывать углы от 0 до  $89^\circ 26'$ . При этом шкалы  $\varphi$  в пределах 0,1—1 располагается правее

шкалы  $F$  и при отрицательном значении  $2 \frac{b}{a} \cos(180 - \varphi)$

величина  $\frac{c}{a}$  определяется по шкале  $\varphi$  не против нулевого деления шкалы  $F$ , а против ее деления 2.

Предлагаемая линейка весьма упрощает расчеты с комплексными числами и может найти себе применение при решении т. к. з. и при решении вопросов, связанных с переходными процессами.

Ю. А. Сабинин

W. J. Bialou and J. T. Mireles Malpica. Измерительные приборы переменного тока с выпрямителями. *ETZ, Heft 46, 17 ноябрь, 1938.*

В последние годы ознаменовались значительным прогрессом в области построения приборов для измерений переменных токов со встроенными выпрямителями. По сравнению с приборами не уступают в настоящее время магнитным приборам, превосходя их значительно по точности измерения собственного потребления и диапазона измерений (без чрезмерных погрешностей) рабочих частот. Большим достоинством приборов с выпрямителями является также практически равномерная шкала. При измерениях при технических частотах наибольшее распространение получили приборы, показывающие сред-

нее значение измеряемой величины. Градуируются они обычно чисто синусоидальным переменным током и снабжаются шкалой эффективных значений переменного тока. Таким образом показания прибора со встроенным выпрямителем зависят от формы кривой переменного тока.

В табл. 1 и на рис. 1 приведены данные, характеризующие современные приборы со встроенными выпрямителями.

	Прибор с выпрямителем и встроенным трансформатором	То же, но без трансформатора	Электромагнитный прибор
Предел измерения, мА	100	100	100
Падение напряжения, В	0,01	1,4	5
Потребление, ВА . . . .	0,001	0,14	0,5

В таблице приведены сравнительные данные о собственном потреблении электромагнитного прибора и прибора с выпрямителем.

Данные, приводимые в статье, свидетельствуют о значительном преимуществе прибора с выпрямителем.

Обращает на себя внимание целесообразность применения встроенных трансформаторов в приборах с выпрямителями, значительно понижающими собственное потребление прибором. Малые размеры трансформаторов (длина сердечника  $\sim 3,5$  см) вполне допускают размещение их внутри приборов.

М. С. Либкинд

A. J. Bialou and J. T. Mireles Malpica. Переносный электрический киловольтметр *GER № 10, октябрь, 1938.*

В статье описывается новый тип прецизионных электростатических вольтметров со световым отсчетом.

Весь прибор помещается в ящике из листового алюминия и весит всего около 10 кг, что делает его удобным для переноски. Габариты ящика  $11\frac{7}{8} \times 12\frac{3}{4} \times 20\frac{7}{8}$  [300 × 320 × 520 мм]. На крышке ящика на диске из прозрачного изолирующего материала находится ввод высокого напряжения, который выдается вверх на  $4\frac{1}{2}$  [110 мм].

Внутри ящика помещается измерительная система, состоящая из двух пар коаксиальных цилиндрических секторов, между которыми приложено напряжение. Подвижной системой прибора служит внутренняя пара секторов, изолирован-

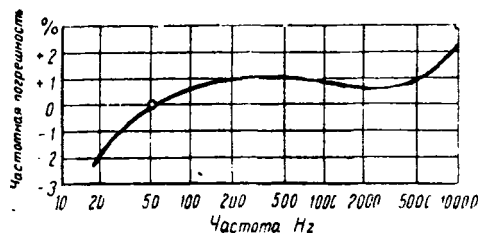
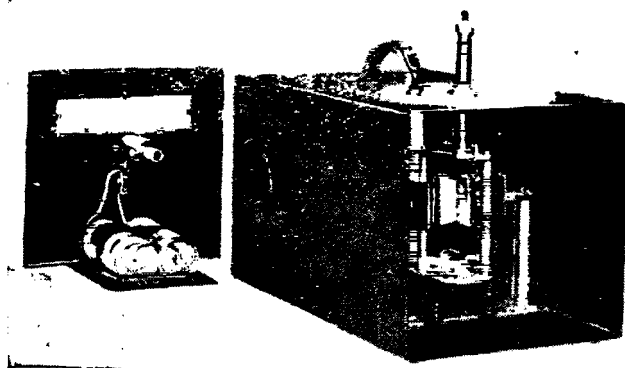


Рис. 1. Частотная погрешность амперметра со встроенным выпрямителем

ная от земли и присоединенная через охранное сопротивление около 2 МΩ к вводу высокого напряжения.

Подвижная система укреплена на подвесе и жестко связана с зеркальцем, отбрасывающим луч света на шкалу, и с демпфирующими алюминиевыми пластинками, входящими в полюсный промежуток постоянного магнита.

Собственный период подвижной системы всего около 1,4 сек. Изоляция ее рассчитана на удвоенное максимальное значение измеряемого напряжения.

Неподвижная внешняя пара секторов электрически соединена с алюминиевым ящиком, играющим роль электростатической защиты.

На передней стенке ящика помещены шкала и осветитель, питающийся от сухой батареи, помещенной в ящике. Приборы изготавливаются со шкалами до 20 kV. Деления шкалы начинаются от 100% значения напряжения, соответствующего полному отклонению. Длина шкалы равна  $7\frac{1}{2}$ " [190 mm].

Точность прибора порядка 20% полного отклонения, т. е. соответствует точности переносных приборов на малые напряжения.

Емкость приборов, имеющих шкалы от 5 до 20 kV, составляет всего около 17—20 μF.

Потребление тока при 60 периодах и 15 kV всего около 0,12 мА.

До частот около 700 Hz показания прибора не зависят от частоты. При более высоких частотах начинает сказываться

падение напряжения на охранном сопротивлении. Внутреннее устройство прибора показано на фотографии.

А. И. Фро

J. Q. Adams. Сплав „Alnico“ GER № 12, декабрь, стр. 518—522.

Статья дает описание свойств и применения твердого магнитного сплава „альнико“ (название—сокращение от первых букв наименований наиболее характерных компонентов: алюминия, никеля и кобальта), получающего в последнее время все большее распространение благодаря своим красным качествам. Состав альнико: углерода — до 0,1%; марганца и кремния (в сумме) — 0,4%; алюминия — 12%; никеля — 20%; кобальта — 5%; остальное — железо. В отливочном материале получается весьма твердым, обладает крупной зернистой структурой и хрупкостью. Обработка производится шлифовкой; материал может сверлиться инструментами из карбидов, но лучше получать отверстия при отливке, используя стержни из графита. Тепловая обработка: нагрев до 1100°, быстрое охлаждение и последующий нагрев до 600° при низкой температуре. Материал дешевле кобальтовой стали, значительно превосходит по величине магнитной энергии постоянные магниты из кобальтовой, вольфрамовой и хромовой стали.

Б. М. Тар

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Передовую науку и технику — на службу третьей сталинской пятилетке . . . . .	1
Троицкий Б. В. — Гидрогенераторы 100, 150 и 200 MW для Куйбышевской гЭС . . . . .	4
Товстопалов А. И., Морозов Д. П., Голован А. Т. — Проблемы развития электропривода в третьей пятилетке . . . . .	8
Гейлер Л. Б. — Прогресс современной техники электропривода . . . . .	13
Москвитин А. И. — Электрический отбойный молоток для угольной промышленности . . . . .	23
Завалишин Д. А. — Ионный преобразователь частоты для регулирования скорости асинхронных двигателей . . . . .	28
Туманишвили Д. Г. — Некоторые вопросы классификации в электроприводе . . . . .	33
Чусов П. П. и Панов А. В. — Задачи советского трансформаторостроения в третьей пятилетке . . . . .	35
Лебедев Б. П. — Нормирование перегрузки трансформаторов . . . . .	40
Корицкий Ю. В. — Определение опасной степени старения изоляции трансформаторов . . . . .	45
Шницер Л. М. — Отклики на статьи о перегрузке трансформаторов . . . . .	48
Бабат Г. И. и Лозинский М. Г. — Концентраторы вихревых токов для зонального нагрева стальных изделий . . . . .	49
Степанов В. Н. — Замечания по проекту руководящих указаний для проектирования городских электросетей . . . . .	55

## ИСПРАВЛЕНИЕ

В сообщении о выборах новых академиков и членов-корреспондентов Академии наук СССР (журн. «Электричество» № 3, 1939) было отмечено:

«Другой крупной работой, выполненной И. С. Бруком, явилась работа по расчету статической устойчивости сложных систем, где автором предложена обоснованная методология расчета и где учитывается влияние изменения частоты в системе и особенности характеристики нагрузки».

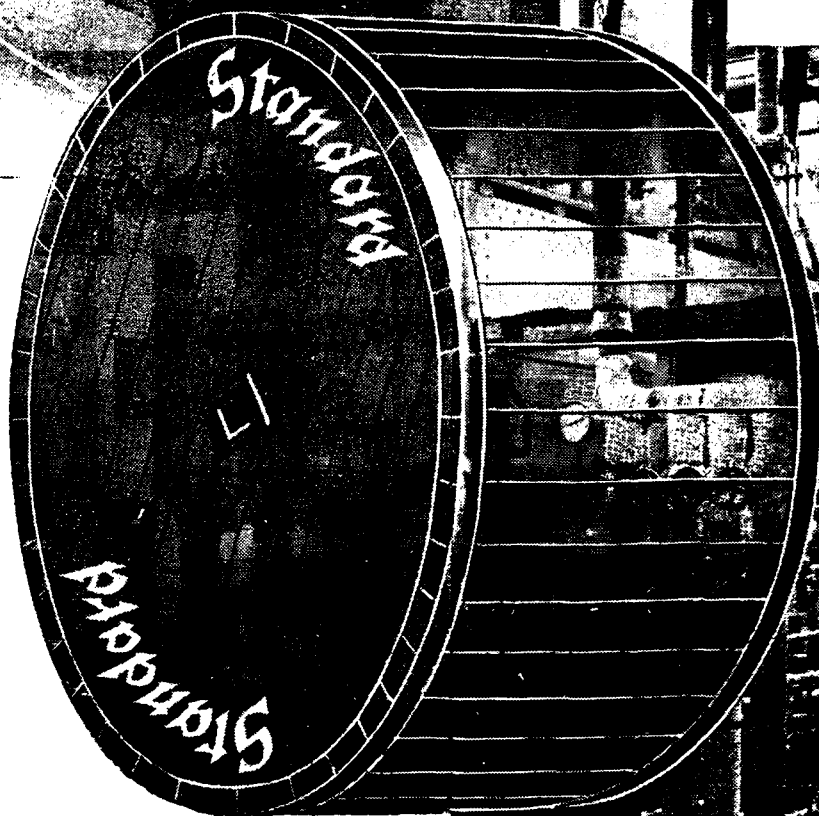
Как сообщил письмом в редакцию член-корреспондент Академии наук СССР И. С. Брук, указанная выше работа выполнена им совместно с инж. И. М. Марковичем (см. статью этих авторов, «О статической устойчивости сложных электрических систем» журн. «Электричество» № 9, 1938).

ИЗДАТЕЛЬ ГОНТИ

Технический редактор А. П. Александрова  
Зав. редакцией М. Г. Башкова

Отв. редактор Я. А. Клименко

ТАБЕЛИ  
ПРОИЗВОДСТВА



## Каждым барабаном с силовым кабелем „STANDARD“

является производственная организация фирмы Standart Telephones and Cables Limited, обладающая глубоким знанием всех машин и процессов кабельного производства, с широко раскинутыми по всему миру разветвлениями этой фирмы. Ввиду этого все операции — начиная с исследования сырья и кончая последним испытанием кабеля высоким напряжением — производятся таким образом, что лабораторная техника превращается в технику массового производства, без каких бы ни было видоизменений.

Из-за своего внешнего виду кабели „Standard“ кажутся такими же как и другие. Вы все же можете быть особенно уверены в их качестве, передавая заказы на них фирме

# *Standard Telephones and Cables Limited*

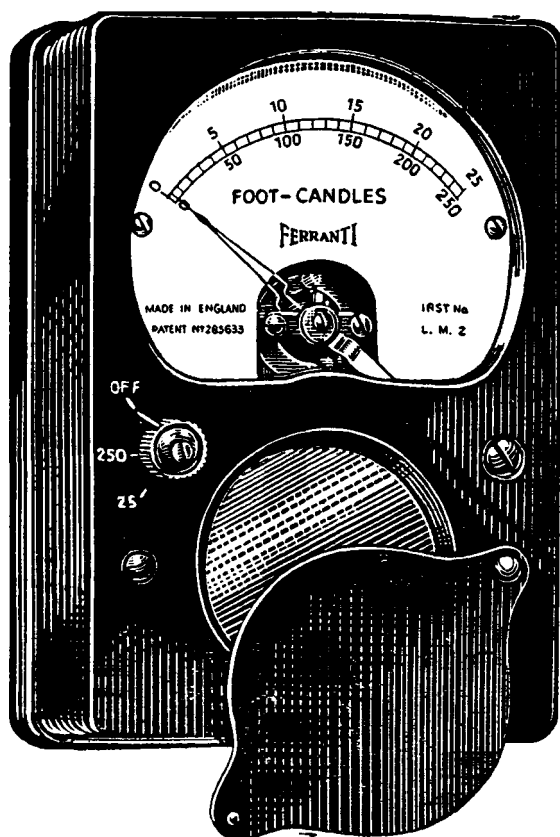
NORTH WOOLWICH LONDON, E. 16. АНГЛИЯ

ОТДЕЛЕНИЯ И ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА ВО ВСЕМ МИРЕ

Вологодская областная универсальная научная библиотека

Импорт иностранных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии





# ПРИБОР ДЛЯ ТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ

СИЛА ОСВЕЩЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ОТ 0 ДО 250 ФУТ-СВЕЧ ТОЧНО ИЗМЕРЯЕТСЯ ПУТЕМ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ОТСЧЕТА ПОКАЗАНИЙ НА ПРОЧНОМ ПЕРЕНОСНОМ ПРИБОРЕ НЕБОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ, НЕ ТРЕБУЮЩЕМ НИКАКИХ ДОБАВОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ. ЭТОТ ПРИБОР СОДЕРЖИТ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ВОЛЬТОВОГО ТИПА И ВЕСЬМА ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ИНДИКАТОР С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КАТУШКОЙ.

ДВОЙНАЯ ШКАЛА { ОТ 0 ДО 25 ФУТ-СВЕЧ  
                          ОТ 0 ДО 250       »       »

ИЗМЕРИТЕЛИ ОСВЕЩЕННОСТИ  
**FERRANTI**

**FERRANTI LIMITED. HOLLINWOOD. LANCs. АНГЛИЯ**

## Свинцовые кабели

для сильных токов, телефона, телеграфа, сигнализации, радио и телевизии, а также принадлежности к ним.

**Провода с резиновой изоляцией**  
любого назначения

**Изоляционные трубки**

MANUFACTURES DE  
CABLES ÉLECTRIQUES  
ET DE CAOUTCHOUC

**EUPEN**

БЕЛЬГИЯ

Всероссийская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru



# ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ из никель-алюминия и кобальтовой стали



**DARWINS LIMITED** SHEFFIELD  
(АНГЛИЯ)

# „ИЗОЛА“

**изоляционные материалы для  
электротехники**

Изделия „мика“

Фибры, пропитанные бакелитом

Пропитанное сукно, пропитанный шелк

Изолировочная бумага

Пропитанные ткани

Пропитанный азбест

Изоляционные лаки

Изолированная проволока :

телефонная проволока,  
эмалированная проволока,  
изолирующая лента,  
азбеститовая проволока

Изолирующие трубки (не на тканной основе)  
Софлекс

**Fabrique Suisse d'Isolants**  
**Bretonbac (Швейцария)**

# N. V. NEDERLANDSCHE KABELFABRIEK

**DELFT (Голландия)**

■■■■

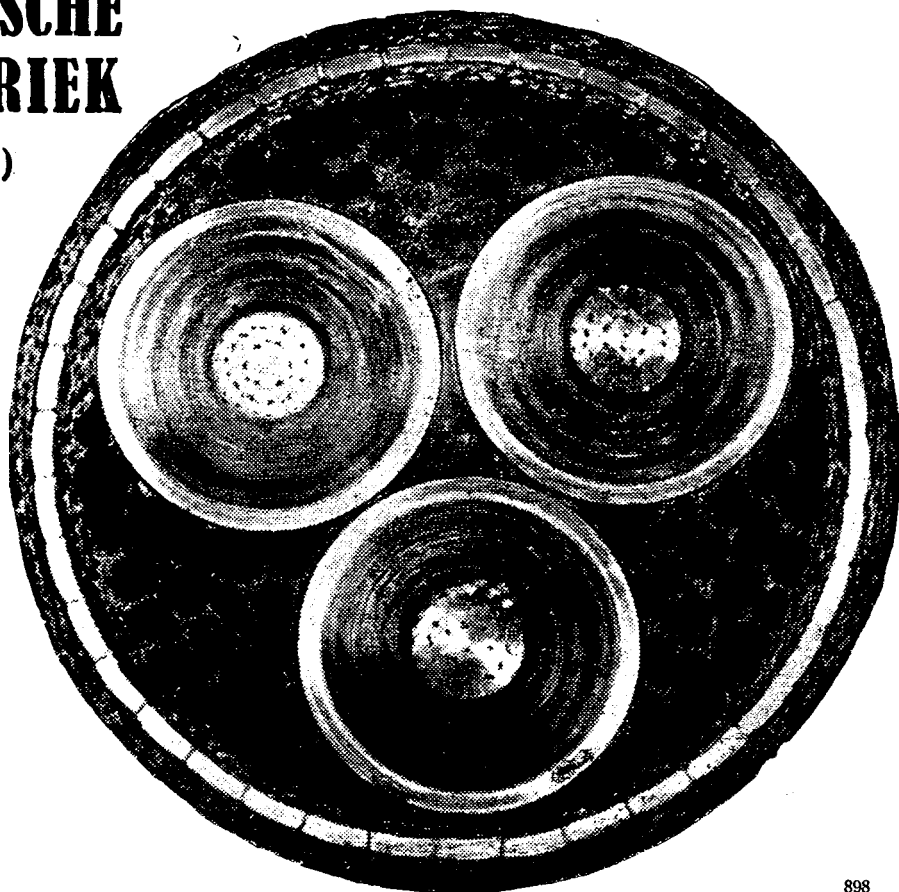
## ПРОИЗВОДИТ:

Подземные электрические  
кабели высокого и низкого  
напряжения с бумажной  
изоляция

Подземные телефонные и  
сигнализационные кабели

Подводные кабели

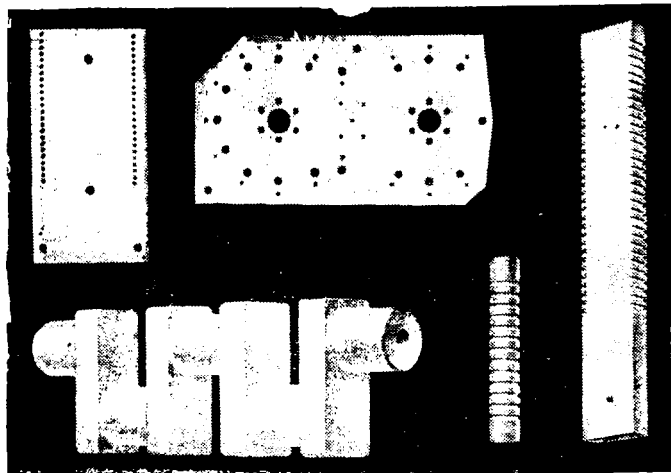
Неизолированную проволоку  
и неизолированные кабели  
из электролитическ. меди



**Имеется лишь один**

изоляционный материал для токов высокой частоты, поддающийся механической обработке, — это

# MYCALEX



## MYCALEX

**MYCALEX (Parent) Co. Ltd.**  
100, VICTORIA STREET, LONDON, S.W.1, АНГЛИЯ

керамический материал, разрешивший проблему изоляции.

Mycalex обрабатывается механически так же легко, как мягкая сталь

Детали, указанные на рисунке, сработаны на наших заводах при помощи обыкновенных быстрорежущих резцов

*В числе наших крупных покупателей значатся:*

Admiralty	Radio Corporation of America
Air Ministry	Dutch Government Radio
Post Office	U.S.A. Admiralty Dept.
War Office	Westinghouse Electric & Manufacturing Co., U.S.A.
British Broadcasting Corporation	Aeronautical & General Instruments, Ltd.
British Thomson-Houston Co., Ltd.	Baird Television, Ltd.
Crompton Parkinson, Ltd.	Dubilier Condenser Co., Ltd.
General Electric Co., Ltd.	Ferranti, Ltd.
Marconi's Wireless Telegraph Co., Ltd. and Associated Companies	National Physical Laboratory, Teddington
Metropolitan-Vickers Electrical Co., Ltd	Plessey Co., Ltd.
A.E.G. Germany	Standard Telephones and Cables, Ltd., and Associated Companies
General Electric Company of America	H. W. Sullivan, Ltd.
Ministry of Marine, France	Telegraph Condenser Co., Ltd.
Philips Radio Holland	Western Electric Co., Ltd.

## Каждый гражданин может содействовать борьбе с пожаром при наличии уличных сигнальных аппаратов А.Т.М.



Любое лицо — мужчина, женщина и ребенок — может оказать неоценимую услугу, потянув, в случае пожара, рычажок уличного сигнального аппарата А.Т.М. Мгновенно и точно тревожные сигналы передаются пожарной команде, где они регистрируются с указанием времени и даты их получения. Аппараты могут снабжаться дополнительными устройствами, экономящими ценные секунды, как-то для автоматического включения света в помещении, манды, открывания дверей и т.д. и т.п. Безошибочный сигнал получается в случае случайного сигнала при помощи уличного сигнального пожарного аппарата А.Т.М. Требуйте более подробное иллюстрированное описание.

## AUTOMATIC TELEPHONE & ELECTRIC CO. LTD.

NORFOLK HOUSE, NORFOLK STREET, LONDON, W.C.2., АНГЛИЯ

Телегр. адрес : „AUTELCO, LONDON ”

**Strowger Works, Liverpool, 7. Англия**

Вологодская областная универсальная научная библиотека

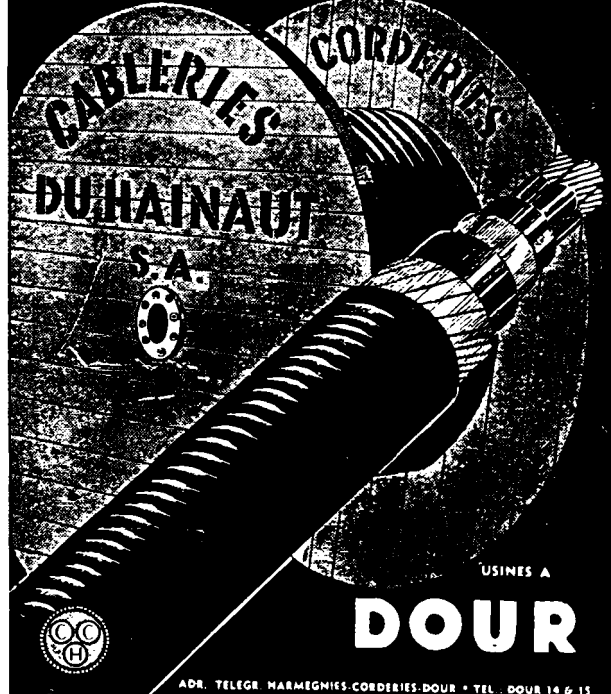
www.booksite.ru





Трансформатор 40.000 KVA—15/220 кв.

## ТРАНСФОРМАТОРЫ Конденсаторы



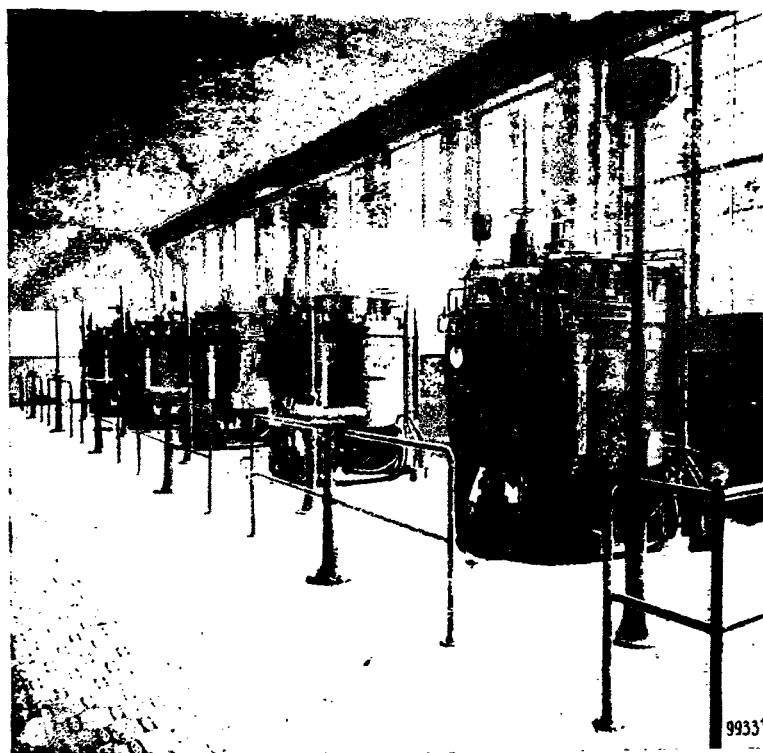
Кабели для сильного тока с резиновой изоляцией и с пропитанной бумагой.  
Контрольные кабели - Телефонные кабели.  
Проволока и кабели с резиновой изоляцией.

**CABLERIES et CORDERIES du HAINAUT, S.A., DOUR.**  
Бельгия.

861

## ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE CHARLEROI CHARLEROI — БЕЛЬГИЯ

●  
Все  
касающееся  
конструкции  
электрооб-  
орудования  
●



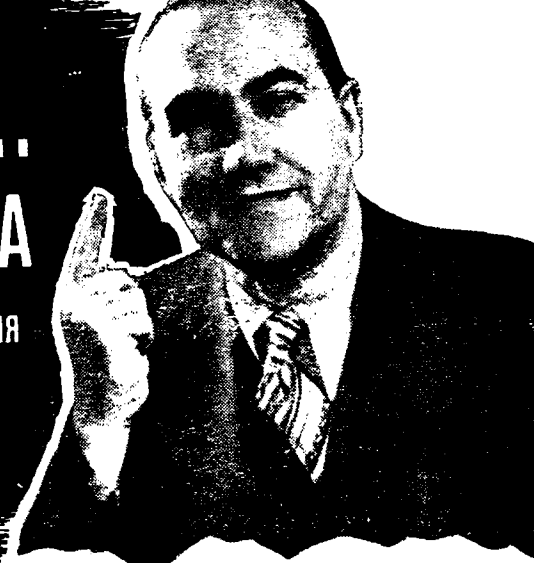
●  
Ртутные  
выпрямители  
Гарантия  
Безопасность  
Многочис-  
ленные  
референции  
●



5 ртутных выпрямителей — 1850 ампер — 600 вольт

# ПЕРЕРЫВ ТОКА... ...БЕЗ ПЕРЕРЫВА

ОБСЛУЖИВАНИЯ



В НЕСКОЛЬКО СОТЫХ ДОЛЕЙ СЕКУНДЫ

## ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ DELLE с последующим УЛЬТРА-БЫСТРЫМ включением

устраняет неисправность без перерыва в работе.

Этот аппарат состоит из двух „ортожекторов“ в последовательном соединении.

В случае мгновенного повреждения (например удар молнии) выключатель В раз'единяет и через известный, заранее регулируемый, промежуток времени вновь включает ток. (Время, необходимое для этих двух операций, не превышает сотых долей секунды).

При затяжном повреждении перерыв тока обеспечен выключателем А.

### ОСОБЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА:

Исключительная безопасность в работе благодаря двум, друг от друга независимым, отдельным камерам выключения.

Максимальная гибкость в работе благодаря возможности использования или устранения приспособления для повторного включения.

Возможность утилизировать установку повторного включения как запасную камеру выключения.

Ateliers de Constructions Électriques de

# DELLE

Брошюра высылается по требованию бесплатно

Société Anonyme au capital de 16.000.000 de  
25, Chemin de Cyprian, VILLEURBANNE, Rhône. Франц

**Т. ЭНЕРГЕТИКИ,  
ЭЛЕКТРИКИ и ЭЛЕКТРО-СВЯЗИСТЫ  
ВКЛЮЧАЙТЕСЬ**

**В СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЕ СОРЕВНОВАНИЕ**

НА ЛУЧШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ПО ШИРОКОМУ ПРОДВИЖЕНИЮ  
В ПРОИЗВОДСТВО ЗАВОЕВАНИЙ ПЕРЕДОВОЙ НАУКИ

**ЗАДАЧИ СОРЕВНОВАНИЯ**

МОБИЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБЩЕСТВЕННОСТИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УКАЗАНИЙ ГОВ. СТАЛИНА  
О ПЕРЕДАЧЕ НАРОДУ ВСЕХ ЗАВОЕВАНИЙ ПЕРЕДОВОЙ НАУКИ;

ШИРОКОЕ ПРОДВИЖЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО ВСЕХ НЕИСПОЛЬЗОВАННЫХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВА-  
ТЕЛЬСКИХ РАБОТ И ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ.

**ПРЕМИРОВАНИЕ**

ДЛЯ АКТИВИСТОВ СОРЕВНОВАНИЯ УСТАНОВЛЕНЫ:

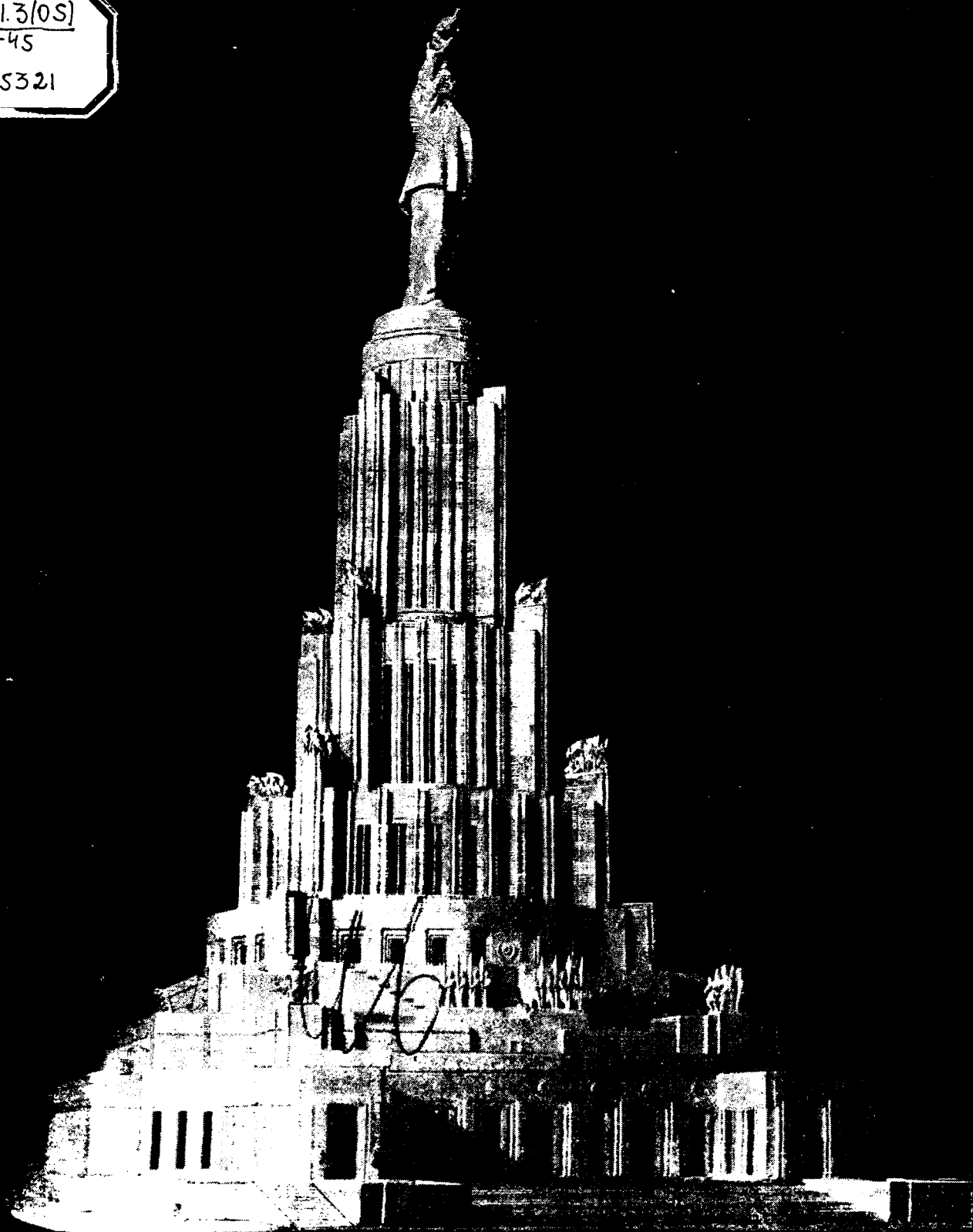
Одна 1-ая премия . . . . . 5 000 руб.	Десять 3-их премий по . . . . . 1 000 руб.
Три 2-ых премий по . . . . . 2 000 руб.	Двадцать 4-х премий по . . . . . 500 руб.

УЧАСТИЕ В БРИГАДЫ, ОРГАНИЗУЕМЫЕ МОСКОВСКИМ ОТДЕЛЕНИЕМ ВСЕСОЮЗНОГО  
НАУЧНОГО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ЭНЕРГЕТИКИ и ЭЛЕКТРОСВЯЗИ  
НА СМОТРА НЕИСПОЛЬЗОВАННЫХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ и ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ  
ПРЕДЛОЖЕНИЙ

Адрес: Москва, ул. Куйбышева, проезд Владыкина, д. 6, 1-й подъезд,  
4-й этаж, Моск. отд. ВНИТО энергетиков



621.3(05)  
9-45  
0365321



# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО