

Из истории электротехники

Чарльз Браун (1863—1924) – ученый, инженер, предприниматель¹

В самый разгар работ над Лауфен-Франкфуртским проектом Чарльз Браун объявил о своем скором уходе из фирмы «Эрликон», намереваясь основать со своим коллегой Вальтером Бовери собственное предприятие «Браун, Бовери и К^о» (Brown, Boveri & Cie).

В центре внимания нового предприятия — технологии переменного тока. Компания, понимая перспективность и важность этого направления, создала множество электропередач на переменном токе, спроектировав для них генераторы, трансформаторы, двигатели и другое оборудование. Основным принципом при разработке электротехнических систем и механизмов заключался в следующем: число фаз и частота электрической установки определяются только соображениями технической и экономической целесообразности настоящего времени. К трехфазным токам мир должен был еще привыкнуть, осознать необходимость перехода на эту модификацию переменных токов, что в одночасье, конечно, свершиться не могло. Поэтому, особенно в первые годы своего существования, когда в Европе еще не установился единый подход к электроснабжению, компания производила довольно широкий диапазон электротехнических изделий, основанных на трех основных видах переменного тока: однофазном, двухфазном и трехфазном.

Опишем нескольких многофазных электрических машин начала 90-х годов 19 в., которые наглядно демонстрировали реальные приоритеты компании.

В двухфазном асинхронном двигателе мощностью 6 л.с. Ч. Браун впервые в истории электромеханики применил обмотку с двухплоскостными лобовыми частями, что гарантировало защиту от межфазных коротких замыканий. Двигатель питался напряжением в 100 В, 40 Гц. Воздушный зазор составлял всего 0,5 мм. Магнитная индукция в зубцах и в воздушном зазоре равнялась, соответственно, 1,15 и 0,75 Тл, что характерно и для современных машин.

На рис. 5 изображен чертеж трехфазного асинхронного высоковольтного электродвигателя с фазным ротором. Напряжение питания 5000 В, мощность 600 л.с, частота вращения ротора 500 об/мин при 40 Гц. Двигатель имел превосходно отработанную конструкцию. При диаметре ротора 750 мм

длина его составляла примерно 750 мм, что говорило о высоком использовании материалов. Ротор имел 96 внутренних пазов, в которых уложена волновая фазная обмотка, образующая звезду с тремя ветвями. Концы обмотки были выведены на три контактных кольца, которые позволяли при пуске двигателя использовать дополнительное сопротивление. Статор имел 48 закрытых «высверленных» пазов, в которые были продеты проводники высоковольтной обмотки. В качестве изоляции использовались толстые трубки из специально обработанной бумаги. Двигатель запускался при полной нагрузке, при этом потребляемый ток был меньше тока в рабочем номинальном режиме [12].

Разработка и изготовление генераторов являлись одним из стратегических курсов «Brown, Boveri & Cie». Именно эти проекты приносили основную прибыль компании, которая к началу 20 в. превратилась в мирового лидера энергетического машиностроения. Этому весьма способствовали конструкторский гений Ч. Брауна и блестяще организованный бизнес. Компания производила несколько основных типов машин: обычные синхронные генераторы, маховичные генераторы паровых машин и зонтичные гидрогенераторы.

Маховичные генераторы в то время считались передовым типом электрических машин; их конструкция позволяла приспосабливаться к недостаткам паровых машин, в частности к неравномерности хода. В таких генераторах маховик паровой машины совмещался с рабочим элементом генератора. Маховичные генераторы производились компанией в виде двух конструкций. Первая, называемая «внутренней», предусматривала внутреннее размещение маховика с обмотками возбуждения по отношению к статору с якорной обмоткой. Вторая, «внешняя», как правило, изготавливалась для генераторов до 500 кВА. Генератор имел наружный индуктор, одновременно являющийся маховиком паровой машины.

Такие генераторы были поставлены «Brown, Boveri & Cie» на Франкфуртскую электростанцию в 1894 г. — этим завершилась эпопея электрификации города, длившаяся почти 12 лет и все это время находившаяся в центре внимания электротехников. Этот проект оказал неопределимое влияние и на мировую электрификацию. Можно с уверенностью

¹ Окончание. Начало см. в № 2, 2013.

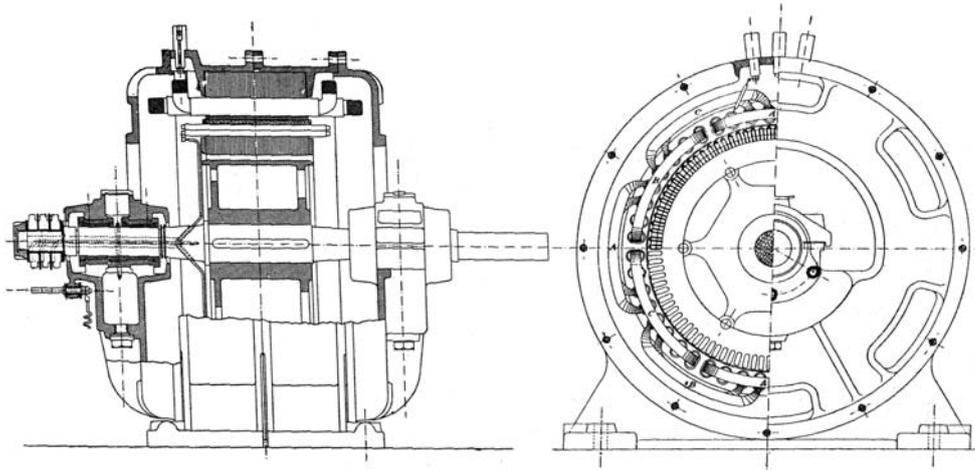


Рис. 5. Трехфазный асинхронный высоковольтный электродвигатель с фазным ротором

поделить историю электротехники на этапы до Франкфурта и после него

Гидроэнергетика была одной из сильнейших сторон деятельности «Brown, Boveri & Cie». В Швейцарии, Франции, Испании, Италии и ряде других стран были реализованы проекты по постройке крупнейших в мире гидроэнергетических установок. Ч. Брауном еще во время его работы в «Эрликоне» была разработана конструкция крупных тихоходных генераторов (так называемых «зонтичных» с вертикальным валом). Название появилось из-за особенности конструкции ротора генератора, выполненной в виде усеченного конуса (рис. 6). Такой вид придают машине наклонные спицы, обеспечивающие максимальное приближение плоскости трения подпятника к магнитной оси ротора.

По мнению ряда электротехников, именно Брауну принадлежит честь изобретения зонтичного генератора [12, 22, 23]. За десятилетие существования «Brown, Boveri & Cie» были созданы десятки гидрогенераторов, из которых необходимо упомянуть несколько уникальных: генератор в Оль-

тен-Аарбурге с номинальной частотой вращения 28 об/мин, установка для общества «Двигательных сил» на Роне (Лион) мощностью в 20000 л.с.; электропередача Палерно–Милан, где впервые был применен трехфазный ток с непосредственным (без трансформирования) напряжением в 15000 В.

Предприятие «Brown, Boveri & Cie» вошло в новое столетие крупнейшим мировым производителем электротехнической продукции. В 1895 г. фирма отпраздновала отгрузку тысячной динамо-машины. Общие итоговые цифры, показывающие масштаб производства «Brown, Boveri & Cie» за первых 9 лет деятельности, таковы: 10500 единиц генераторов и двигателей общей мощностью около 326000 л. с; 6000 единиц трансформаторов общей мощностью около 120000 л.с.

Компания «Brown, Boveri & Cie» одной из первых применила трехфазные асинхронные машины в качестве судовых электродвигателей. На этом пути пришлось преодолевать ряд сложностей при проектировании машин морского исполнения с целью уменьшения массогабаритных показателей и др. Тем не менее, этот проект был также успеш-

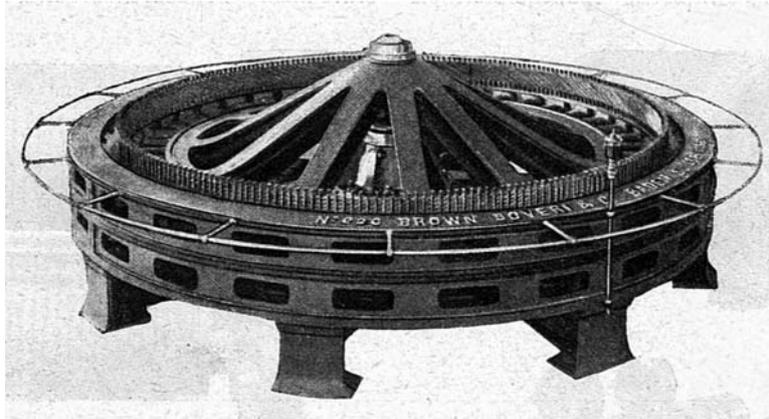


Рис. 6. Зонтичный генератор «Brown, Boveri & Cie»

ным. Трехфазные двигатели не только выдерживали конкуренцию с двигателями постоянного тока, но по многим показателям превосходили их.

Каждая отрасль промышленности нуждалась в определенной адаптации двигателей к специфике своего производства. Журнал «Электричество» писал: «Прядильные машины, требующие от двигателей полнейшей регуляции хода; ткацкие станки, где при непосредственной передаче двигатель испытывает резкие изменения нагрузки; приведение в действие центробежных и поршневых насосов, грузоподъемников, поворотных и мостовых кранов, веревочных подъемных машин, шахт, дробильных, всевозможных инструментальных машин и многих других. Двигатели доставлялись для различных промышленных учреждений, как-то: прядилен, ткацких предприятий, кузниц, литейных предприятий, механических мастерских, химических заводов, бумажных фабрик, типографий и т.д., и во всех случаях были прекрасные результаты. Эти многочисленные применения способствовали широкому развитию производства двигателей и поставили фирму «Браун, Бовери и К°» в ряды первоклассных конструкторов как по объему производства, так и по гениальности применений» [22].

Еще одной областью деятельности, которой фирма «Brown, Boveri & Cie» с самого начала уделяла повышенное внимание, был железнодорожный транспорт на электрической тяге. Промышленный этап развития электротехники на рубеже 1890-х годов 19-го в. явился началом централизованного производства электроэнергии. Именно этот фактор сыграл решающую роль в электрификации железнодорожного транспорта. Появляются первые попытки перевести на электрическую тягу сначала городские, затем пригородные и далее магистральные железные дороги. Многие электротехники того времени весьма скептически относились к возможности применения асинхронных двигателей в тяговом транспорте. Как известно, тяговые двигатели должны удовлетворять как минимум двум требованиям: обеспечивать значительную силу тяги во время трогания поезда, его разгона, преодоления крутых подъемов и т.п. и снижать ее при более легких условиях движения; допускать возможность регулирования в широких пределах частоты вращения для изменения скорости движения поезда. Такими свойствами обладали двигатели постоянного тока.

К этому моменту уже стали очевидными основные достоинства асинхронных трехфазных двигателей: простота, надежность и удобство в эксплуатации. Благодаря отсутствию коллектора их можно было проектировать на значительно большие на-

пряжения, чем машины постоянного тока. Вместе с тем высказывались и большие сомнения. Выдающийся российский ученый-энергетик, пионер электрификации железных дорог Генрих Осипович Графтио писал: «Говорили, что при пускании в ход вращающий момент асинхронных двигателей слишком слаб для сообщения поезду приличного ускорения и что при этом они будут расходовать громадные токи, что сравнительно небольшая величина $\cos\varphi$ вызовет значительное падение напряжения в линии и до нельзя усложнит регулирование генераторов на центральной станции и что даже при небольшом падении напряжения в линии может случиться, что поезд совсем не тронется с места... Наконец, крупным неудобством для движения ставили постоянство скорости, вследствие присущего всем асинхронным двигателям свойства независимости скорости от нагрузки... Практика вскоре, однако, показала другое и выяснила всю несостоятельность упомянутых возражений. Недавно построенные «Brown, Boveri & Cie» в Швейцарии электрические дороги с двигателями трехфазного тока работают с полным успехом, на деле доказали все прекрасные качества трехфазных двигателей» [24].

Под руководством Ч. Брауна было выполнено несколько пионерских проектов по созданию тягового транспорта на трехфазном токе. Среди них следует выделить прежде всего электрификацию железной дороги Церматт–Горнерграт (Швейцария).

На высоте 1600 м над уровнем моря находилось небольшое живописное селение Церматт, которое со всех сторон окружали горы. Для увеличения туристического потока в 1884 г. было принято решение о строительстве зубчатой дороги от селения до горы. Такая дорога отличалась от обычной наличием зубчатой рейки (рельса), находящейся посередине между двумя рельсами. Это решение было продиктовано большим наклоном трассы, местами достигающим до 200%. Рядом протекала р. Маттерфисп, поэтому еще в начале проектирования было решено оснастить дорогу электрической тягой. Был объявлен конкурс. Из пяти представленных проектов в четырех предлагалась электротяга с двигателями постоянного тока. Только один проект (фирмы «Brown, Boveri & Cie») основывался на применении трехфазного тока. Новые технические возможности трехфазных систем позволяли упростить и, соответственно, удешевить традиционные решения на постоянном токе. В итоге выиграл проект «Brown, Boveri & Cie». Организаторы конкурса проявили определенную решительность, поскольку ни на одной железной дороге мира не была еще испытана трехфазная тяга. Журнал «Электричест-

во» напишет в 1900 г. об этом событии так: «В истории развития электрических железных дорог весьма любопытен тот факт, что трехфазные двигатели были впервые применены для горных железных дорог с очень большими уклонами и крутыми поворотами, тогда как главные возражения против электродвигателей сводились именно к их неспособности выдерживать значительные повышения нагрузки, к сравнительной незначительности начального момента вращения и слишком большому весу, приходящемуся на единицу мощности» [22].

Часть потока реки направлялась в наклонную металлическую трубу, нижний конец которой подходил к зданию электростанции. Сила потока позволяла обеспечить мощность в 1000 кВт. Три горизонтальные турбины Белля, каждая мощностью в 250 л.с., вращали трехфазные синхронные генераторы «Brown, Boveri & Cie» с частотой 400 об/мин. При этом генераторы вырабатывали напряжение 3500 В, 40 Гц. Индукторы обоих генераторов возбуждались от генератора постоянного тока, вращаемого небольшой турбиной. Частота вращения больших турбин изменялась с помощью щитовых затворов. Напряжение генераторов регулировалось вручную с помощью реостата, изменявшего ток в обмотках возбуждения. Трехфазное напряжение 3500 В передавалось по высоковольтной линии к трем трансформаторным подстанциям, расположенным на центральной станции, пятом и восьмом километрах железной дороги. Трансформаторы понижали напряжение до 540 В. Толщина каждого провода линии электропередачи до 5 км составляла 5 мм, после подстанции на 8 км провода были более тонкими – 4 мм. Такие технические решения позволили уменьшить стоимость линии электропередачи. Провода высокого напряжения были подвешены на фарфоровых двухюбочных изоляторах к деревянным столбам высотой около 7,5 м. Каждая трансформаторная подстанция имела мощность 180 кВт и состояла из шести однофазных трансформаторов по 30 кВт каждый. Таким образом, на каждую фазу приходилось по два трансформатора, соединенных параллельно. Рядом с трансформаторными подстанциями на специальных столбах были расположены выключатели, позволяющие отсоединить трансформаторы от линии высокого напряжения. Вторичные обмотки трансформаторов были непосредственно соединены с контактными проводами локомотива толщиной 8 мм и с рельсами, выполняющими роль третьего провода.

Электровоз весил 11 т и имел два трехфазных шестиполусных асинхронных двигателя мощностью по 90 л.с. Двигатели находились на двухосной раме, на которую опирался кузов электровоза (рис. 7). При частоте тока в 40 Гц двигатель вра-

щался с частотой 800 об/мин, которая затем уменьшалась с помощью редуктора в 12 раз. Номинальная скорость движения состава была 7 км/ч. Над двигателями находился общий реостат, соединенный с обмотками роторов. Реостат был помещен в металлический кожух из тонкого железа с отверстиями для вентиляции. Сопротивления реостата имели специальные сегменты, соприкасающиеся с угольными контактами обмоток роторов. Перемещая контакты, можно было постепенно включать в обмотки ротора большее или меньшее сопротивление или замыкать обмотки накоротко, а также осуществлять трогание состава с места или изменять его скорость. На электровозе имелся также коммутатор, позволяющий реверсировать двигатели или выключать их, легкоплавкие предохранители и амперметр. Управление движением электровоза было очень простым. Трогание с места происходило очень плавно, даже на предельных углах подъема. При короткозамкнутых обмотках роторов скорость движения оставалась практически неизменной и равнялась 7 км/час, независимо от того поднимается состав в гору или идет под уклон. Максимальное отклонение по скорости не превышало 5%. Впервые в истории электротехники в этом проекте было применено рекуперативное торможение состава. При движении поезда под уклон двигатели начинали работать в генераторном режиме. Был специально составлен такой график движения, при котором учитывался подъем или спуск. Поезд, шедший под уклон, подпитывал освободившейся энергией поезда, шедшие на подъем. Каждый поезд в 29 т, движущийся под уклон в 200‰, уменьшал нагрузку на генератор примерно на 100 л.с. Если в этот момент не было поездов, расходующих дополнительную энергию на подъем, то «лишняя» энергия могла повредить электрической системе, разгрузив генераторы, скорость которых могла возрасти до опасных значений. В таких случаях использовался водяной реостат, представляющий собой три старых рельса, помещенных в канаву с водой. При возрастании скорости турбины водяной реостат автоматически включался в высоковольтную линию и грел воду.

Обращаем внимание читателей на то, что это были проекты 1885–1889 гг., когда еще не было частотных преобразователей, управляющих асинхронными двигателями. Намного позже, благодаря развитию полупроводниковой техники, были созданы преобразователи, позволяющие эффективно регулировать частоту и момент асинхронных двигателей. Однако идеи и принципы такого управления заложил именно Ч. Браун.

Специалистами «Brown, Boveri & Cie» была создана трехфазная трамвайная линия Лугано (Швей-

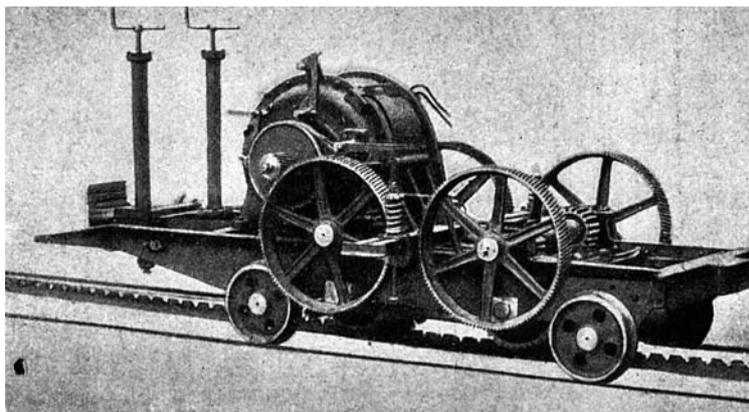


Рис. 7. Общий вид рамы электровоза с одним из двигателей

цария), последовательно построен еще ряд линий и, наконец, в июле 1889 г. открыто движение на первой электрической ширококолейной железной дороге в Европе Бургдорф–Тун. В 1906 г. компания электрифицировала (на трехфазном токе) туннель протяженностью 20 км на перевале Симплон. На тот момент он был самым большим по протяженности железнодорожным туннелем в мире.

Г.О. Графтио писал: «Вся честь разработки трехфазных двигателей применительно к требованиям тяги по справедливости принадлежит одному из выдающихся строителей и специалистов электрического дела инженеру Ч. Брауну и его сотрудникам. Ими же новая система всесторонне разработана и введена в жизнь» [24].

Хочется также привести слова известного советского ученого-электромеханика профессора Вацлава Александровича Толвинского, которые он написал в 1924 г. о работах Ч. Брауна в области электрификации железных дорог: «Браун оказал значительное влияние на развитие электрической тяги, причем он занимался почти исключительно разработкой вопроса о тяге посредством трехфазного тока» [25].

С момента применения первых генераторов существовало два основных источника их вращения: гидротурбина, использующая энергию воды, и паровая машина. Последняя являлась тепловым двигателем внешнего сгорания, преобразующим энергию пара в механическую работу возвратно-поступательного поршня и далее во вращательное движение вала. К первичному двигателю предъявлялись определенные требования по большому числу оборотов и равномерности вращательного движения. Практикой было установлено, что оптимальная частота вращения генератора лежит в пределах 750–4000 об/мин и определяется родом тока и значением генерируемой мощности. Важнейший аргумент за использование быстроходных генераторов состоял в значительном уменьшении массогабарит-

ных показателей по сравнению с низкоскоростными машинами. Так, исследованиями С. Томпсона было установлено, что у машин переменного тока с малой окружной скоростью в одном кубическом сантиметре активного слоя (кольцевого слоя, включающего обмотку статора с его зубцами) должно генерироваться 3,4–4,85 Вт, тогда как средние значения для быстроходных генераторов составляли 7–17,3 Вт [26].

Решение проблемы быстроходности паровых машин было весьма непростой задачей. Достигнутые максимальные показатели мощных паровых машин были следующими: вертикальная машина тройного расширения (четыре цилиндра) завода Делона-Бельвиль мощностью 1750 л.с. имела частоту вращения всего 250 об/мин; вертикальная машина тройного расширения завода Борзиг мощностью 2200 л.с. вращалась со скоростью 83,5 об/мин [27]. Кроме того, паровые поршневые машины обладали определенной неравномерностью хода, что сказывалось на качестве электроэнергии. Начались интенсивные работы по созданию нового теплового двигателя – паровой турбины.

Инженер Парсонс после 15 лет экспериментов в 1884 г. изготовил первую многоступенчатую турбину реактивного типа. Он распределил напор пара на несколько ступеней турбины, которая состояла из 30 вращающихся и стольких же направляющих лопаток. Мощность этой турбины была 10 л.с. при 18000 об/мин. К началу 90-х Парсонс изготовил уже несколько сотен турбин. В своих конструкциях он старался применять новейшие технологии. Например, лопатки турбин изготавливались из разных материалов; для насыщенного и умеренного перегретого пара использовалась бронза, никелевая бронза – для сильно перегретого пара, медь – для области паравысокого давления [28]. Последовательно увеличивая число ступеней и диаметр ротора, Парсонс смог понизить частоту вращения турбины до 3000 об/мин, что уже делало возможным

ее применение для выработки электрической энергии. Паровые турбины по сравнению с поршневыми машинами обладали и рядом других преимуществ: способностью развивать большие мощности в одном агрегате, сравнительно небольшими размерами, высоким КПД и равномерностью хода, относительной простотой конструкции

При появлении паровых турбин возникли новые проблемы, но уже с электрическими генераторами. Синхронные генераторы изготавливали тогда только явнополюсной конструкции. При скоростях турбины в 1500 об/мин и более окружные скорости роторов генераторов принимали недопустимые значения, при которых элементы ротора традиционной конструкции (обмотки, пазовая изоляция, крепления и т.д.) не выдерживали центробежных нагрузок [29]. Роторы турбогенераторов приходилось делать сравнительно небольшого диаметра, но и в этом случае показатели линейной скорости элементов ротора были значительно выше, чем у обыкновенных машин. В 1908 г. в статье о развитии турбогенеростроения Е. Батцель писал: «...окружная скорость ротора у обыкновенных машин при чугунном роторе редко достигает скоростей в 30 м/с, а выполненные турбогенераторы средней и большей мощности имеют скорости 60–90 м/с, единичные же экземпляры более 100 м/с. При таких скоростях каждый килограмм материала ротора испытывает напряжение в несколько тысяч килограммов, поэтому роторы требуют весьма тщательного выполнения, особенно еще потому, что они несут возбуждающую обмотку» [26]. «Brown, Boveri & Cie» приобретает лицензию на производство турбин Парсонса, и первая изготовленная ею паровая турбина мощностью 250 кВт была поставлена в 1901 г. в Италию.

Ч. Браун в это время много занимался проблемами разработки новых высокопрочных конструкций роторов для генераторов турбин. С. Томпсон писал в этот период: «К числу тех, кто рано осознал необходимость внесения существенных изменений в конструкцию электрических машин вследствие использования высоких окружных скоростей, относится Ч.Ю.Л. Браун. ...Он понял, что многие конструктивные решения, вполне подходящие для машин с медленным ходом, оказываются несостоятельны при высоких скоростях, когда центробежные силы более чем в 1000 раз превосходят силу тяжести... Даже при малом количестве полюсов (например, 2 или 4) и большой длине при относительно малом диаметре самая прочная конструкция с плотно подогнанными медными полосами оказывается недостаточно прочной. При высоких скоростях вращения совершенно необходима точная балансировка. Однако, чтобы динамическое равнове-

сие не менялось при этом даже после длительной эксплуатации, обмотка возбуждения должна быть зафиксирована абсолютно устойчиво, с гарантированной механической прочностью. Для достижения этого Браун предложил и запатентовал несколько решений» [1]. Сам Ч. Браун так пишет о своей работе: «В 1900 г. по моей инициативе было начато производство паровых турбин. При этом оказалось, что производившиеся до настоящего времени типы генераторов для них не подходят, поэтому я предложил использовать изобретенный мною валообразный индуктор магнитного поля, который даже в первом исполнении показал столь хорошие результаты, что на него немедленно была подана патентная заявка. Это было в 1901 году». В 1901 г. он получает патент № 138253 под названием «Ротационный индуктор для генераторов переменного тока».

Поясним сущность изобретения Брауна. Как уже упоминалось выше, в то время все роторы синхронных машин имели явно выраженные полюса. Для турбогенераторов Браун применил зубчатый ротор. Традиционная явнополюсная машина превратилась в неявнополюсную. Конструкция турбогенератора Брауна представлена на рис. 8. В пазы ротора укладывалась обмотка возбуждения. Браун стал применять два вида пазов: радиальные и параллельные. Примерно третья часть полюсного деления оставалась свободной от пазов и образовывала так называемый «большой зубец», через который проходила основная часть главного магнитного потока генератора. Обмотка возбуждения закреплялась при помощи бронзовых клиньев. Лобовые части обмотки возбуждения крепились с помощью

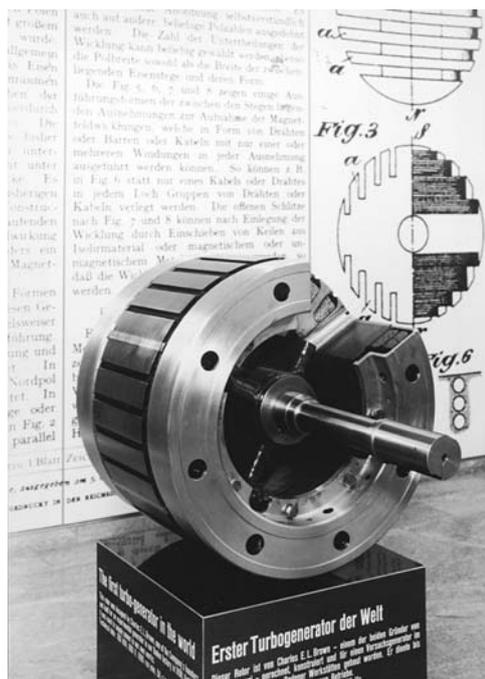


Рис. 8. Ротор первого турбогенератора

бандажных колец. Особое внимание уделялось вентиляции. Эта задача усложнялась тем обстоятельством, что длина активной части ротора турбогенератора была в несколько раз больше его диаметра. Магнитопровод статора и ротора расщеплялся в осевом направлении на отдельные пакеты, между которыми имелись вентиляционные промежутки [26].

Ведущие мировые производители электрических машин параллельно с «Brown, Boveri & Cie» интенсивно занимались разработками высокоскоростных турбогенераторов. Тем не менее, самым удачным оказалось решение Ч. Брауна. Конкуренты тщетно пытались обойти этот патент, предлагая подобные решения. «Brown, Boveri & Cie» регулярно подавала иски, защищая свои патентные права на это изобретение. Поэтому многие фирмы, в том числе «Сименс», «АЕГ», «Вестингауз», заключили с «Brown, Boveri & Cie» лицензионные соглашения, по которым выплачивали за право использования идей Ч. Брауна многие миллионы. До 1906 г. «Brown, Boveri & Cie» продала около 500 паровых турбин общей мощностью 770 МВт, а в 1910 г. перешагнула границу в 1 ГВт. Производство паровых турбин превратилось в одно из важнейших направлений деятельности «Brown, Boveri & Cie». В 1904 г. на него приходилась уже половина всего оборота фирмы [1].

Ч. Брауна, бесспорно, можно считать отцом современной конструкции синхронных машин, причем многодетным отцом, поскольку именно им созданы все основные применяющиеся в настоящее время типы синхронных двигателей и генераторов широчайшего спектра частот вращения и мощностей. Лауфенский трехфазный генератор, зонтичные генераторы, маховичные генераторы, турбогенераторы и скоростные синхронные двигатели – вершины творческого гения Брауна. Без этих машин невозможно представить современное электромашиностроение.

Руководство «Brown, Boveri & Cie» прекрасно понимало важность бурно развивающегося электротехнического рынка в Российской Империи, российскому направлению уделялось серьезное внимание. Перечислим только некоторые из больших проектов компании: электрификация Новороссийского элеватора, поставка генераторов переменного тока для Дворцовой электростанции в Царском Селе, трехфазных генераторов для электростанции Трехгорной мануфактуры в Москве, паровых турбин «Brown, Boveri & Cie» на Никольскую мануфактуру в Орехово-Зуеве, турбогенераторов для московской Центральной трамвайной электростанции, применение многофазных двигателей в машинах для прокатки труб металлургиче-

ского завода Розенкранца в Петербурге, поставка турбогенераторов для Центральной электростанции Киева. А были еще сотни проектов, информацию о которых история не сохранила.

Из всех проектов в России остановимся на одном – электрификации Новороссийского элеватора.

Новороссийский элеватор был крупнейшим в мире после Чикагского. Строительство началось в апреле 1891 г., и было закончено в октябре 1894 г. Все строительные работы возглавил выдающийся русский инженер, титулярный советник Александр Николаевич Шенснович (1845–1922). Первоначально электрическую станцию предполагалось оборудовать на постоянном токе. Но после многочисленных публикаций о Лауфен-Франкфуртской трехфазной системе М.О. Доливо-Добровольского и Ч. Брауна А.Н. Шенснович принял решение сделать ставку именно на трехфазные токи. Летом 1892 г. заводу фирмы «Браун-Бовери» были заказаны чертежи трехфазных машин и схем электрооборудования. Из-за того, что молодая компания Чарльза Брауна и Вальтера Бовери в тот момент еще не располагала достаточными производственными мощностями, все электрическое оборудование, разработанное «Brown, Boveri & Cie», включая магнитопроводы генераторов и двигателей, обмотки, изготовлялось в механических железнодорожных мастерских Новороссийского элеватора. Сборка всех устройств осуществлялась также в мастерской электростанции. Надо отдать должное смелости как швейцарских, так и русских инженеров, не побоявшихся передачи технологий, тесной кооперации и рисков, связанных с абсолютно новаторским проектом. Вот что писал об этом Михаил Андреевич Шателен в журнале «Электричество» за 1895 г.: «При станции (электростанция элеватора. – *Авт.*) имеется своя мастерская. В этой мастерской производится не только весь ремонт машин и двигателей, но и приготовление новых. Все динамо-машины переменного тока, установленные на станции, точно так же, как и все электродвигатели, приготовлены на месте. Из Москвы получают только чугунные и стальные отливки, вся же сборка частей, обмотка, испытание и т.п. производится на месте. Я думаю, что Новороссийская станция единственная, которая сама занимается приготовлением для себя машин и двигателей, притом таких значительных размеров. Это можно объяснить себе только отдаленностью места и отсутствием специальных заводов и мастерских. Станции приходилось самой готовить себе технический персонал и, конечно, лучший путь для этого был избранный. Техники, участвуя сами в постройках машин, лучше узнавали их детали и их устройство и могли

затем лучше следить за их работой» [30]. В 1893 г. элеватор был электрифицирован.

Шли годы. Несмотря на несколько экономических кризисов, прорвавшихся по Европе в 1900, 1902–1904, 1908–1909 гг., компания «Brown, Boveri & Cie» продолжала развиваться. В 1911 г. Ч. Браун ушел с поста председателя Административного совета. В этом же году в 20-ю годовщину Лауфен-Франкфуртской электропередачи Высшая Техническая школа в Карлсруэ присвоила ему степень почетного доктора наук. Он постепенно удалялся от дел компании и занимался частной жизнью.

Чарльз Браун скоропостижно скончался от инфаркта в местечке Монтаньола близ Лугано 2 мая 1924 г. В июньском номере журнала «Электричество» был напечатан некролог, в котором Ч. Браун назван «виднейшим пионером в области практического динамостроения» [25]. Ч. Браун обладал глубокими знаниями законов физики и электротехники, имел необычайную инженерную интуицию. Все это вместе с фантастическим трудолюбием позволяло ему создавать такие новаторские проекты и находить удачные технические решения, которые живы и продолжают совершенствоваться до сих пор.

После смерти Ч. Брауна его детище — компания «Brown, Boveri & Cie» — динамично развивалась и после Второй мировой войны превратилась в международный концерн. С 1945 по 1985 гг. ее оборот вырос в 70 раз. Численность персонала по всему миру составила свыше 100000 чел. В 1988 г. произошло слияние «Brown, Boveri & Cie» с крупной шведской компанией «ASEA» («Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget»), образованной в 1883 г. Объединение произошло под новым брендом «Asea Brown Boveri Ltd» («ABB»). В настоящий момент компания «ABB» — один из лидеров мировой электротехнической индустрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Von Norbert Lang, Charles E.L. Brown (1863–1924), Walter Bowery (1865–1924). Gründer eines Weltunternehmens. — Verein für wirtschaftshistorische Studien Melien, 2000.
2. **Электродвигатель** в его историческом развитии. Документы и материалы/Под ред. В.Ф. Миткевича. — М.: АН СССР, 1936.
3. **Капп Г.** Электрическая передача энергии. — С.Петербург: Типография Ю.Н. Эрлих, 1893.
4. **Wyssling W.** Die Entwicklung der schweizerischen Elektrizitätswerke und ihrer Bestandteile in den ersten 50 Jahren 1896–1946. — Zürich: Schw. Elektrotechnischem Verein, 1946.
5. **Вебер Г.Ф.** Электрическая передача силы между Кригштеттенем и Золотурном. — Электричество, 1888, №№ 3, 4, 7, 9–10.
6. **Arnold E.** Karlsruhe: Verlag von Wilhelm Jahraus, 1899, 19, [1] p.
7. **Опыты Брауна** над передачей работы на расстояние при помощи электричества. — Электричество, 1887, № 5–6.
8. **Смирнов А.И.** Успехи электротехники (Речь на открытии Первого Всероссийского электротехнического съезда 27 декабря 1899 г.). — Электричество, 1890, № 1–2.
9. **Капп Г.** Электрическая передача энергии. Лекция III. — Электричество, 1891, № 22.
10. **Борисоглебский Ю.В., Галевский Г.В., Кулагин Н.М. и др.** Металлургия алюминия. — Новосибирск: Наука, 1999.
11. **Behrend V.A.** The Debt of Electrical Engineering to C.E.L. Brown-II. — Electrical World and Engineer, 1901, November.
12. **Томпсон С.** Многофазные электрические токи и двигатели переменного тока/Пер. с англ. М.А. Шателена. — С.Петербург.: Издание журнала «Электричество», 1898.
13. **Эрликовская** динамомашинка в 600 л.с. для металлургической обработки алюминия. — Электричество, 1893, № 18.
14. **Капп Г.** Лекция III. Электрическая передача энергии. — Электричество, 1891, № 22.
15. **Доливо-Добровольский М.О.** Избранные труды (о трехфазном токе). — М.;Л.: Госэнергоиздат, 1948.
16. **Шенфер К.И.** Асинхронные машины. — М.;Л.: ГОСОНТИ, 1938.
17. **Госпиталье Э.** Многофазные переменные токи. — Электричество, 1892, № 19–20.
18. **Behrend V.A.** The Debt of Electrical Engineering to C.E.L. Brown-II. — Electrical World and Engineer, 1901, № 23.
19. Offizieller Bericht über die Internationale elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt am Main, 1891. Herausgegeben vom Vorstand der Ausstellung., Frankfurt a.M., J.D. Sauerländer, 1893–94.
20. **Иванов-Смоленский А.В.** Электрические машины: Учебник для вузов. — М.: Энергия, 1980.
21. **Бородин Д.А., Бородин В.Д.** Юбилей первой электропередачи трехфазного тока (К 120-летию Международной электротехнической выставки во Франкфурте-на-Майне). — Электричество, 2012, № 1 и 2.
22. **Войтяк Ю.Ф.** Экспонаты «Электромеханических заводов акционерного Общества Браун, Бовери и К0» на Парижской Всемирной Выставке 1900 года. — Электричество, 1901, № 9–10.
23. **James E.** The International Diffusion of Electrical Power Technology, 1870 -1920 Britain The Journal of Economic History, vol. 34, No. 1; The Tasks of Economic History, Mar., 1974.
24. **Графтио Г.О., Минкевич Б.И.** Описание некоторых новых линий электрических железных дорог (Из поездок по Америке и Европе инж. п.с. Г.О. Графтио и техника Б.И. Минкевича). — Электричество, 1900, № 17; Новейшие Швейцарские электрические дороги с трехфазными двигателями, 1900, № 19; Линия Церматт—Горнерграт, 1900, № 23–24.
25. **Толвинский В.А.** Чарльз Браун. — Электричество. 1924, № 11.
26. **Батцель Е.** Турбогенераторы переменного тока. — Электричество, 1908, № 11.
27. **Белькинд Л.Д., Веселовский О.И., Конфедератов И.Я., Шнейберг Я.А.** История энергетической техники. Изд. 2. — М.: Госэнергоиздат, 1960.
28. **Александров Н.** Из истории паровой турбины. — Двигатель, 2000, № 4.
29. **Найдхоффер Г.** Эволюция трехфазной машины (К 100-летию электропередачи трехфазного переменного тока). — Электричество, 1992, № 10.
30. **Шателен А.М.** Электрическая установка на элеваторе в Новороссийске. — Электричество, 1895, № 19–20.
31. **Гусев С.А.** Первая русская установка трехфазного тока (Новороссийская электростанция). — Электричество, 1953, № 12.
32. **Аксенов В.Ф.** Из воспоминаний инженера Новороссийской электростанции. — Электричество, 1953, № 12.

Беспалов В.Я., Бородин Д.А., Бородин В.Д.

