

## Из истории электротехники

### Юбилей первой электропередачи трехфазного тока

(К 120-летию Международной электротехнической выставки во Франкфурте-на-Майне)

*«Техника не заботится много о лабораторных опытах, мало интересуется теоретическими размышлениями и «возможностями», она приветствует открытия лишь тогда, когда ей покажут, что из них можно кое-что «сделать», покажут хотя бы и не в законченной, но, по-крайней мере, в сколько-нибудь практической форме.»*

*М.О. Доливо-Добровольский*

На закате жизни в 1917 г. М.О. Доливо-Добровольский, затрагивая вопрос приоритета создания трехфазных систем, напишет в своей знаменитой работе «Из истории трехфазного тока»: «Отдельные изобретения различных изобретателей иногда наслаиваются или перекрещиваются самым причудливым образом. Приоритет в таких случаях очень трудно установить. С возникновением трехфазного тока связывается много имен, каждое с известным правом. Самый краткий их перечень в алфавитном порядке таков: Бредли, Венстрём, Доливо-Добровольский, Тесла, Феррарис, Хазельвандер. Но я мог бы его при небольшом усилии удвоить».

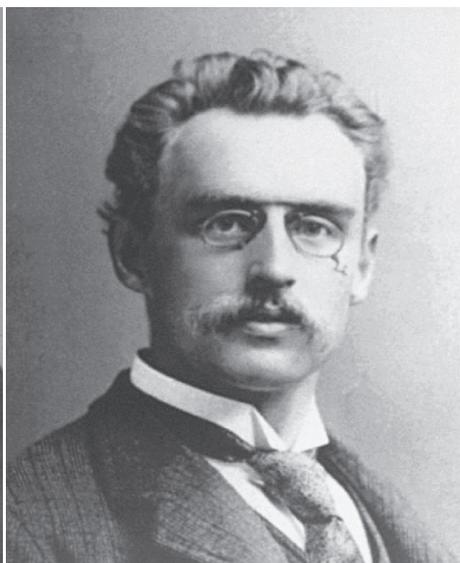
Действительно, в конце 1880-х годов многофазными токами занималось довольно много талантливых инженеров и ученых. Эта идея буквально витала в воздухе. Бредли открыл связанную трехфазную систему токов еще 1888 г. Первым, кто понял принцип «вращающегося поля», был Ферра-

рис. Первым, кто запатентовал многофазные токи, был Тесла. Блестящий шведский ученый, один из основателей «ASEA» Йонас Венстрём практически параллельно с Доливо-Добровольским создал и запатентовал трехфазный асинхронный двигатель (пусть и не столь совершенный) и разработал трехфазную цепь, трехфазный генератор и трехфазный трансформатор. Он также применял в своих схемах соединения в звезду и треугольник. Немецкий ученый Фридрих Август Хазельвандер в конце 1880-х интенсивно работал над двухфазными и трехфазными системами. Не будем вдаваться в подробности длительного спора о том, кто является формальным автором данного открытия. Зададимся вместо этого вопросом: почему датой рождения трехфазных токов считается именно 25 августа 1891 г. — дата пуска Лауфен-Франкфуртской электропередачи?

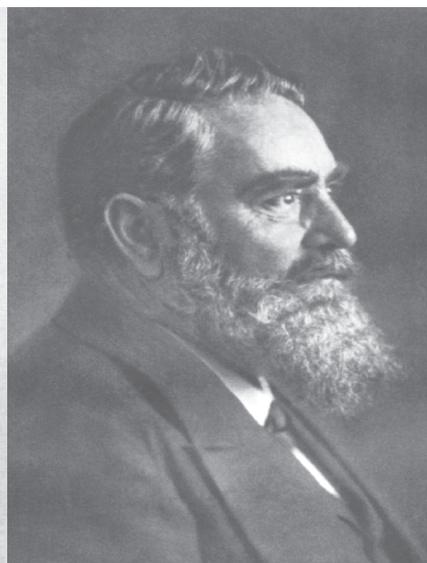
Несомненно, что это знаменательное событие во многом определено гением Доливо-Добровольского, который из всех перечисленных ученых в тот момент был наиболее готов к практической реализации идеи трехфазного тока. Безусловно, большой вклад в осуществление проекта трехфазной электропередачи внес его партнер — выдающийся инженер Чарльз Браун. Но есть и еще один важнейший аспект, повлиявший на то, что именно эта дата стала исторической. Рядом с Доливо-Доб-



М.О. Доливо-Добровольский



Чарльз Браун



Оскар фон Миллер

ровольским и Брауном стоял еще один гений — Оскар фон Миллер. Это его энергия, настойчивость, смелость и фантазия сделали так, что о трехфазных токах с восторгом заговорил весь мир. Это он сумел собрать блестящую команду ученых, инженеров, предпринимателей, увлечь их идеей грандиозной электропередачи, выдержать жесткую критику оппонентов, найти средства для финансирования этого весьма непростого и затратного проекта, подключить к реализации государственные структуры Германии и, наконец, довести все до победного конца. Это он добился, что выставка, проходящая в небольшом городе с населением, не дотягивающим до 200 тыс., стала самой знаменитой из всех электротехнических выставок, поворотной точкой в электротехнике. Об Оскаре фон Миллере, его команде по осуществлению этого проекта и выставке пойдет сейчас речь.

Последние десятилетия 19 в. характеризовались в Германии мощным экономическим подъемом. Одним из быстро развивающихся городов был Франкфурт-на-Майне. Администрация города серьезно задумалась об электрификации еще в 1882 г., когда только начали появляться первые электростанции. На протяжении нескольких лет рассматривались всевозможные варианты электроснабжения. За это время электротехника сделала большой рывок вперед. Сформировались различные распределительные системы. Каждая имела преимущества и недостатки. Старейшей была двухпроводная система постоянного тока напряжением 110 В. Но такое напряжение создавало ограничения по радиусу действия (примерно до 600 м). Для крупных муниципальных предприятий старая двухпроводная система отпадала из-за большой стоимости электросети и высоких потерь в линии. В 1882 г. Томас Эдисон и Джон Гопкинсон создали трехпроводную схему электроснабжения, в которой два генератора по 110 В соединялись последовательно и от средней точки выводился нейтральный провод. Между ним и основными проводами было напряжение 110 В, а между основными проводами 220 В. Это позволило увеличить радиус передачи до 1200 м. По аналогии стали создаваться четырех- и пятипроводные линии с большим числом последовательно соединенных генераторов. Это не давало экономии меди проводов, но позволяло увеличить радиус до 1500 м.

К середине 1880-х годов, наконец, появились пригодные для практических целей генераторы однофазного переменного тока и трансформаторы. Изобретение и развитие трансформаторной техники стало огромным шагом вперед для технологии переменного тока, так как давало возможность повышать или понижать напряжение переменного тока без больших потерь. Переменный ток был бо-

лее удобным хотя бы потому, что его можно было легко трансформировать. Станции однофазного переменного тока начали строиться по всей Европе. Но, к сожалению, этой системе тока в промышленность путь был весьма ограничен, так как на тот момент альтернативы машинам постоянного тока не было. Они были гораздо лучше машин переменного тока. Постоянный ток можно было накапливать в аккумуляторах, использовать для электролиза и из-за низкого напряжения без проблем применять в лампах накаливания, дуговых лампах или в электродвигателях постоянного тока. Кроме того, в переменном токе инженеры сталкивались с явлениями, в то время непонятными (индукционные и емкостные токи, резонанс и пр.). Поэтому преимущества переменного тока были далеко не очевидными. Споры между сторонниками разных систем тока были настолько непримиримыми, что получили название «трансформаторных битв» или «войн переменного и постоянного тока».

В конце 1880-х годов вопрос об электрификации Франкфурта-на-Майне вновь был инициирован. Для рассмотрения предложений известных фирм была создана специальная комиссия экспертов, среди которых были такие признанные авторитеты, как Галилео Феррарис, Эрасмус Киттлер и Фридрих Уппенборн. Комиссия в результате высказалась за использование переменного тока, несмотря на то, что большинство депутатов Городского совета снова не смогло сделать окончательный выбор. Ясности в этом вопросе не прибавилось. Сомнения магистрата Франкфурта-на-Майне также распространялись и на другие немецкие города со схожими задачами в области электрификации. В огонь «системного» спора добавила хвороста статья Эдисона об опасностях токов высокого напряжения, в которой красной нитью проходило утверждение, что переменные токи гораздо опаснее постоянных. Статья вызвала шквал ответных публикаций в прессе об относительных достоинствах и недостатках постоянных и переменных токов. В номерах журнала «Электричество» за 1890 г. помещены выдержки из статей известных электротехников, участвующих в этой дискуссии: С. Ферранти, Д. Вестингауса, Д. Гопкинсона и У. Томсона и др., которые приводили массу примеров и аргументов, доказывающих тенденциозность Эдисона. «Эдисон поэтому стоит за постоянные токи, что его системы электрического освещения основаны на употреблении постоянного тока...» — вот главный вывод редакции журнала «Электричество». Действительно, за мнениями участников дискуссии стояли интересы крупных фирм. Защитники постоянного тока были ведущими игроками электротехнического рынка, обладателями патентов на системы по-

стоянного тока: «Эдисонова компания освещения» (Edison Illuminating Company), «Сименс и Хальске» (Siemens & Halske), «АЕГ» (AEG), «Шукерт и К<sup>о</sup>» (Schuckert & C<sup>o</sup>). Сравнительно молодые компании, такие как «Вестингауз Электрик» (Westinghouse Electric), «Гелиос АГ» (Helios AG), «Ганц и К<sup>о</sup>» (Ganz & C<sup>o</sup>), делали ставку на переменный ток.

Спор об оптимальной системе для электроснабжения Франкфурта достиг своего пика. Заказ на строительство Франкфуртской электростанции в тот момент был крупнейшим в Германии заказом. В ноябре 1889 г. Леопольд Зоннеман внес предложение об организации Международной электротехнической выставки во Франкфурте-на-Майне и стал председателем её организационного комитета. Главная цель выставки — решить, наконец, «системный спор» в пользу того или иного способа электроснабжения города. Зоннеман был весьма крупной фигурой во Франкфурте, являясь одновременно лидером демократической фракции в городском собрании и членом Рейхстага. Он также издавал влиятельную газету «Франкфуртер Цайтунг» (Frankfurter Zeitung). Важным шагом, обеспечившим будущий успех выставки, стало назначение технического руководителя. Им стал Оскар фон Миллер. Его порекомендовал франкфуртский советник по вопросам градостроительства Вильям Линдлей. Миллер и Линдлей познакомились друг с другом еще в ходе первого конкурса на создание франкфуртской городской электростанции. Тогда он представлял интересы «АЕГ». К этому времени Оскар фон Миллер уже покинул «АЕГ» и возглавлял собственное инженерное бюро в Мюнхене. Дела его шли далеко не блестяще, ему приходилось конкурировать с крупными электротехническими компаниями, заказов было немного. Для того чтобы понять удачность выбора именно Миллера в качестве технического руководителя выставки, обратимся к нескольким весьма существенным моментам биографии этого удивительного человека.

В 1881 г. в Париже на Первом международном электротехническом конгрессе французский физик Марсель Депре сделал доклад о возможности передачи электроэнергии на большие расстояния. Депре теоретически доказал, что электрическую энергию промышленной мощности можно передать на значительное расстояние по тонким проводам с большим КПД при условии достаточно высокого напряжения. Этот доклад слушал молодой немецкий электротехник Оскар фон Миллер и оценил важность работы Депре. Миллер тогда серьезно занимался решением важнейшей задачи по использованию энергии воды в Баварии. Это было тесно связано с проблемой передачи электрической энер-

гии на расстояние. Уже через год Миллер становится техническим руководителем Электротехнической выставки в Мюнхене. Выставка имела большой успех, но главным ее событием стала передача электроэнергии на фантастическое для того времени расстояние в 57 км. Идея принадлежала Миллеру. Он специально для ее осуществления пригласил Депре построить линию постоянного тока от Мисбах до Мюнхена.

Внешне этот эксперимент выглядел весьма эффективно. Энергия от динамомшины мощностью 3 л.с. напряжением около 2 кВ передавалась по стальным телеграфным проводам на электродвигатель, приводивший в действие насос для искусственного водопада. Но КПД передачи был, увы, не более 24%. Депре постоянно чинил свой генератор, в обмотках которого то и дело происходили пробой — полное коммерческое фиаско. Однако с научной точки зрения этот эксперимент, безусловно, дал серьезный импульс к развитию и совершенствованию подобных работ. Электропередача горячо обсуждалась мировым техническим сообществом. «Новорожденное дитя» — так оценил эти эксперименты Доливо-Добровольский.

По окончании выставки в Мюнхене Оскар фон Миллер едет по заданию консорциума промышленников Германии во Францию, Англию и Америку. Он изучает проблемы электротехники, встречается с ведущими мировыми учеными в этой области, среди которых были Джон Гопкинсон и Томас Эдисон. В 1883 г. он начинает работать в качестве технического директора в «Германской эдисоновской компании», позднее преобразовавшейся во «Всеобщую электрическую компанию» — «АЕГ». Это была одна из крупнейших электротехнических фирм Европы того времени. Возглавлял ее предприимчивый инженер Эмиль Ротенау. «Германская эдисоновская компания» выполняла крупные контракты по электрификации, в числе которых было и электроснабжение центральных районов Берлина. Чуть позднее в 1887 г. главным электриком «АЕГ» становится молодой инженер М. О. Доливо-Добровольский, который в начале 1889 г. создает трехфазный электродвигатель. В последующие два года он разрабатывает основную концепцию трехфазной электропередачи. Эти работы проводятся в тесном сотрудничестве с дружественной «АЕГ» швейцарской фирмой «Эрликон», руководителями которой были Петр Эмиль Губер и Чарльз Браун. Миллер с большим вниманием следил за революционными работами Доливо-Добровольского в области трехфазных токов, став их активным сторонником. Кроме того, имея опыт проведения выставок, он обладал широкими международными связями, был блестящим организатором



Фотография Международной электротехнической выставки во Франкфурте-на-Майне

ром. Его жесткий характер, самостоятельность и смелость в решениях позволяли ему наперекор обстоятельствам осуществлять свои планы.

В марте 1890 г. Миллер выступил перед организационной комиссией, подчеркнув в своем докладе: «Основной задачей этой выставки является содействие в решении проблемы передачи и распределения электрической энергии на большие расстояния». Он отверг старый план, по которому выставочные площади делились строго по фирмам-изготовителям, и жестко настоял на своем проекте: фирмы, производящие аналогичную продукцию, должны находиться в одном павильоне. По его мнению, это даст фирмам возможность «сравнить в рамках мирного соревнования свои достижения с достижениями коллег по отрасли». Поставить фирмы-конкуренты напротив друг друга, спровоцировать их на максимальное раскрытие своих технологий и возможностей — типично в духе Миллера. А главное, по его предложению правление выставки решило отказаться от обычно принятой практики раздачи призов и сертификатов. Вместо этого наиболее выдающиеся экспонаты должны были стать предметом критического описания и оценки, причем все это — на основании замеров и обследований международной авторитетной независимой проверочной комиссии. Главой комиссии был назначен выдающийся немецкий ученый Герман Гельмгольц. Это решение сразу подняло уровень продукции, выставляемой электротехническими компаниями.

Миллер получил практически полную свободу действий для реализации своей концепции организации выставки. В качестве символа выставки был принят плакат художника и графика Франка Кирхбаха, использовавшего мотив из греческой мифо-

логии. Оковы Прометея разрывает аллегорическая женская фигура — «Электричество». Она несет в темноту свет, изображенный в виде большой электрической лампы. Луч света падает на территорию выставки — мир в миниатюре. Несущая свет фигура «Электричества» станет в последующие годы символом электротехники.

О проекте было широко объявлено общественности. У многих фирм возникли опасения, что они не успеют подготовить достойную экспозицию за столь короткий срок. Пришлось срок проведения переносить почти на полгода. Датой открытия было названо 16 мая 1891 г. Только после этого число заявок резко увеличилось. Вообще 1891 г. был богат на подобные мероприятия, причем крупные международные выставки в разных странах проходили почти одновременно. Риск «конкурен-



Рекламный плакат выставки

ции» заставлял организаторов Франкфуртской выставки прилагать все силы к тому, чтобы постоянно подогревать интерес к этому событию. Миллер привлекал к участию в выставке все новые и новые фирмы, в связи с чем постоянно приходилось перерабатывать план территории. Он умел мастерски заманивать фирмы. Один из работников того времени вспоминает: «Приходивших с намерением арендовать 1–2 квадратных метра г-н фон Миллер принимал и «раскручивал» лично. На выходе из его кабинета участник соглашался не просто на аренду нескольких квадратных метров выставочной площади, а на крупную экспозицию. Некоторые мелкие фабриканты уже мнили себя при этом крупными промышленниками». Миллер пользовался любым удобным случаем для распространения информации о выставке. Так, 24 марта 1891 г. он делал перед Берлинским электротехническим обществом обзорный доклад о предстоящем событии и сказал во вступлении: «Я хочу дать вам общее представление о выставке с тем, чтобы убедить вас, как я надеюсь, в том, что стоит поехать во Франкфурт, чтобы увидеть и изучить там необычайный прогресс во всех областях электротехники». Усилия дали плоды. В общей сложности во Франкфурте выставились 456 фирм.

Как и планировалось, в субботу 16 мая 1891 г. Франкфуртская электротехническая выставка официально открылась. С приветственной речью выступил председатель выставочной комиссии Л. Зоннеман. Он сравнил масштабы предыдущих Мюнхенской (1882 г.) и Венской (1883 г.) выставок с вновь открытой. Первая располагала электрической мощностью всего в 160 л.с., вторая — 1200 л.с., нынешняя выставка имела в своем распоряжении уже 4684 л.с. Только эти данные показывали, насколько вырос и развился этот раздел техники. Несмотря на то, что выставка открылась, многое еще не было построено, часть установок еще не была смонтирована. Тем не менее, заинтересованные посетители по нескольку раз приезжали на выставку в течение полугодовой ее работы и наблюдали за постепенным ходом дела. Журнал «Электричество» писал об этом моменте: «Для инженера, пожалуй, теперь самое интересное время для посещения выставки — он увидит здесь все в работе, увидит монтаж машин, иногда не менее интересный, чем сами машины, словом, познакомится с подготовительной, практически весьма интересной, частью работы».

Выставочная территория была выбрана удачно. Она находилась рядом с железнодорожным вокзалом и р. Майн. Это было очень удобно для пользования как городским, так и междугородним транспортом. Общая площадь выставки составляла при-

близительно 77000 кв. м, из которой 21200 кв. м было застроено зданиями. На основной территории возвели многочисленные павильоны — каждый для отдельной области электротехники. Павильоны были деревянные, так как по завершении выставки их планировалось разобрать, однако их фасады оформили весьма представительно. Архитектура подражала готике и эпохе Ренессанса. Это контрастировало с тем, что в павильонах была представлена сверхсовременная отрасль — электротехника. Мысленно пройдемся по территории выставки. У главного входа располагались павильоны железнодорожной сигнализации, телеграфной связи и телефонии. Визуальным и идейным центром выставки был машинный павильон, весьма внушительных размеров. Он находился напротив главного входа и по ночам ярко освещался 2000 электрических лампочек. Главной задачей выставки было найти «правильную» систему электрического тока, поэтому основной интерес вызывали генерация и распределение электрической энергии. В этом огромном помещении было тесно от множества генераторов 31 фирмы, в сумме вырабатывающих несколько мегаватт электроэнергии. Они питали здесь же находившиеся дуговые лампы и лампы накаливания, прожекторы, вентиляторы, двигатели насосов, металлообрабатывающие станки и другое оборудование — и все это одновременно работало. Именно так, собрав в одном помещении различные системы, буквально столкнув лбами сторонников и противников переменного и постоянного тока, можно было получить представление об их достоинствах и недостатках. Прямо напротив главного входа павильона располагались по соседству два жестко конкурирующих представителя сторонников постоянного и переменного тока — «Ламайер» и «Гелиос». Стенды двух других конкурентов в системном вопросе — «Сименс и Хальске» и «Шукерт и К<sup>0</sup>» — также находились напротив, в противоположных концах павильона. Конкурирующие электроэнергетические фирмы были очень активны. Каждая защищала свой вариант. На карту ставился не только заказ из Франкфурта, но и ожидавшиеся вслед за ним заказы от других городов. Конечно, делалось все возможное, чтобы не дать разногласиям по системе электрификации перерасти в войну между фирмами.

Сторонники постоянного тока подчеркивали техническую зрелость своих устройств: простоту в эксплуатации схем электроснабжения, возможность накапливать электрическую энергию с помощью аккумуляторов, превосходно сконструированные и господствующие на рынке машины постоянного тока. Миллер предложил рядом с современными конструкциями демонстрировать и ста-

рые устройства. Эта идея позволяла фирмам с богатой историей показать их значительный вклад в электротехнику и достигнутый прогресс в создании новых разработок. Особенно удачным в этом историческом сравнении был стенд «Сименс и Хальске», на котором были представлены старые генераторы и современные машины. Основное место занимала динамомашинка постоянного тока 450 кВт (3000 А, 150 В). Не взирая на то, что фирма «Сименс и Хальске» являлась ревностным сторонником постоянного тока, конструкция установки позволяла переключать ее с постоянного тока на переменный. Становилось ясно, что фирма негласно ведет работы по поиску решений с использованием технологий переменного тока. Основанное в 1882 г. Кельнское предприятие «Гелиос» наоборот использовало технологии переменного тока. Фирма привезла на выставку крупную электростанцию переменного тока с генератором мощностью 400 кВт, вырабатывающим напряжение в 2000 В и предназначенным для освещения главной площади выставки; кроме того, генератор вырабатывал электроэнергию для освещения Пальмового сада на противоположном конце города. Достоинство этой установки — возможность регулирования напряжения в широком диапазоне и параллельного подключения второго генератора.

За грандиозным машинным павильоном находилась котельная с четырьмя декоративно оформленными трубами из цветного камня. Здесь было установлено более двух десятков котлов различных систем, снабжающих паром машины, вращающие электрические генераторы соседнего павильона. Вокруг котельной была сооружена галерея, дающая возможность посетителям осматривать котлы, а рабочим обслуживать эти устройства. Рядом находились павильон передачи электроэнергии и залы для проведения семинаров. Именно там позже заработал искусственный водопад, приводимый в действие асинхронным двигателем, питаемым электроэнергией, которая передавалась от гидроэлектростанции Лауфен на р. Неккар.

Слева от большого машинного павильона Миллер возвел искусственную горку. Еще левее находились павильоны науки, медицины и точной техники, небольшие здания художественной выставки и проверочной комиссии, внушительное сооружение художественной панорамы. Большой популярностью у посетителей пользовался ипподром, где скакали деревянные лошадки, приводимые в действие электричеством. Справа от большого машинного павильона располагались помещения для промышленных объектов, театр, вокзал фирмы «Сименс и Хальске» и смотровая вышка высотой 40 м с электрическим лифтом американской компании «Отис Бразерс». Желающие могли также

взглянуть на территорию выставки с высоты птичьего полета, поднявшись на воздушном шаре. Трос шара наматывался на барабан с помощью электродвигателя. Правда, шар несколько раз улетал, но к счастью, все заканчивалось благополучно, и его возвращали на место. По всей территории были размещены рестораны и кафе, пивные и торговые киоски. В разных концах играло сразу несколько оркестров. Было сделано все возможное, чтобы у посетителей возникло ощущение праздника. Особенно народ ломился на такие дополнительно введенные Миллером аттракционы, как панорама, лабиринт и водолазный бассейн. В искусственной горке был устроен грот, откуда высывался изрыгающий пар дракон. Обо всем этом в захлеб писала пресса. На первый взгляд может показаться странным такое сочетание: с одной стороны, сложнейшее электротехническое оборудование, строгие научные измерения, Международный конгресс электротехников; с другой, многочисленные аттракционы, питейные и увеселительные заведения, художественные выставки, панорамы, бегущие деревянные лошадки. Но это странно только на первый взгляд. Миллер прекрасно знал, что делал. Он преследовал основную цель — развитие систем городского электроснабжения. Достичь этой цели было возможно только при наличии массового энергопотребителя. Соответственно, чтобы создать спрос на этом рынке, необходимо было привлечь не только промышленные предприятия, но и самые широкие массы населения, показать им все преимущества революционной технологии, буквально вложить в мозг обывателя потребность в этом новом продукте. Несомненно, доход от продажи билетов был тоже важным моментом. Поэтому территория выставки представляла собой органичное соединение технических павильонов с ярмарочной площадью. Выставка проработала 157 дней. За это время ее посетило более миллиона человек. Это была очень внушительная цифра, если учесть, что все население Германии составляло около 50 млн чел. Каждый независимо от профессии и уровня образования мог найти для себя на выставке много интересного.

К сожалению, из-за ограниченного объема статьи невозможно описать и малой части тех электрических машин, систем и устройств, которые были представлены на выставке. Только один их перечень мог бы занять целую страницу. Представить о грандиозности мероприятия можно по одной цифре — в 7 млн марок оценили выставку страховщики. Заметим, что монета достоинством в 10 марок тогда была золотой и весила около 4 г.

На выставке первостепенное внимание было уделено различным системам, демонстрирующим транспортировку электрической энергии на значительные расстояния. Новостью явилось то, что

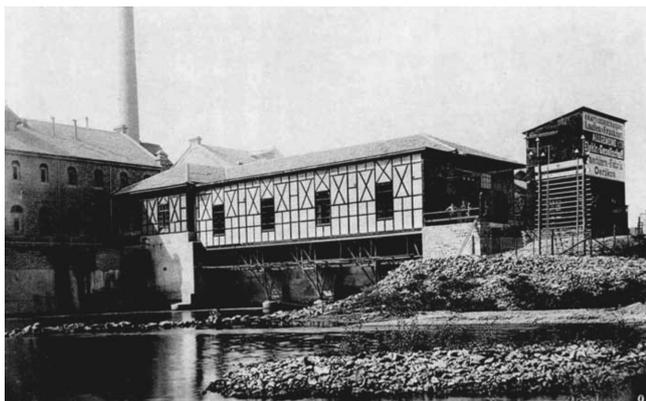
даже такие фирмы, как «Сименс и Хальске» и «Шукерт и К<sup>о</sup>», относимые к сторонникам постоянного тока, участвовали в экспериментах по транспортировке электроэнергии переменного напряжения. Так, фирма «Сименс и Хальске» передала однофазный ток с территории выставки к морскому павильону на берегу Майна. Расстояние было незначительное – несколько сотен метров, но напряжение передачи достигало 48000 В. «Шукерт и К<sup>о</sup>» продемонстрировала передачу уже двухфазного переменного тока на расстояние 3,5 км при напряжении 1600 В. Фирма «Гелиос» передавала переменный ток от машинного павильона к Пальмовому саду. Франкфуртская компания «Ламайер и К<sup>о</sup>» осуществила передачу постоянного тока напряжением 2000 В на расстояние около 10 км из Оффенбаха во Франкфурт. Эта компания выступала в качестве основного конкурента Лауфен-Франкфуртской передаче трехфазного тока. Интересно, что «Ламайер и К<sup>о</sup>» сделала все возможное и невозможное, чтобы запустить свою линию раньше заявленной 170-километровой электропередачи из Лауфена. Едва успели – пустили только 22 августа, т.е. на три дня раньше.

Серьезным рычагом для привлечения внимания общественности стало проведение многочисленных семинаров, конгрессов и конференций в период работы выставки. Для этих целей были построены два павильона. Основная тематика этих мероприятий касалась пропаганды внедрения электрического тока. Значимым событием явилось проведение в конце августа 1891 г. во Франкфурте Конгресса немецких городских управ. Представители около 150 муниципалитетов были потенциальными заказчиками строительства электростанций. Во время работы выставки ее постоянно посещали многочисленные делегации из зарубежных и немецких городов с целью получения информации из первых рук о различных системах электроснабжения. Организаторы выставки предоставляли также возможность однодневных экскурсий во Франкфурт участникам конгрессов, проходящих в других городах. Важнейшую роль, несомненно, сыграл Международный конгресс электротехников, собравший более 700 участников из 12 стран.

Но все же, несмотря на успех выставки, на обсуждение и принятие во время ее проведения выдающихся электротехнических решений, главное событие было впереди. И это хорошо видно при изучении источников тех лет. Журнал «Электричество» писал о первых неделях работы выставки: «Посетившие выставку теперь найдут, к сожалению, главный предмет внимания, а именно Лауфенскую передачу, далеко еще не готовой».

Интересна предыстория выбора маршрута Лауфен-Франкфуртской электропередачи. В 1888 г. в селении Лауфен, находящемся примерно в 170 км от Франкфурта, был построен цементный завод. Для его нужд соорудили плотину, однако мощность гидроэлектростанции была избыточной. Было решено продавать лишнюю электроэнергию соседнему маленькому городку Хайльбронн, находящемуся в 10 километрах, для его электрического освещения и приведения в действие двигателей. В первой половине 1890 г. техническое бюро Оскара фон Миллера получает заказ от цементного завода на строительство этой линии электропередачи. Миллер смог убедить правление предприятия опробовать для этой цели новую систему трехфазного тока, благодаря чему он планировал не только снизить затраты на передачу энергии, но и использовать более простые электродвигатели. Миллер с большим вниманием следил за работой Доливо-Добровольского в «АЕГ» и считал, что оптимальным для передающего устройства является именно трехфазный ток. Рекомендация по использованию трехфазного тока была весьма рискованной, так как технология была новой и прежде не использовалась ни в одном из немецких городов. Тем самым Оскар фон Миллер доказал свою техническую и предпринимательскую отвагу, выбрав не опробованную систему тока. Достаточно сказать, что с момента демонстрации Доливо-Добровольским первой модели асинхронного трехфазного двигателя мощностью всего 100 Вт прошел только год. Двигатели для Хайльбронна должны были изготавливаться «АЕГ», а фирма «Эрликон» получила заказ на изготовление генераторов трехфазного тока мощностью 300 л.с. и масляных трансформаторов для ГЭС Лауфен. Кроме того, был также риск, связанный с использованием машин разных изготовителей, из-за их возможной несовместимости, так как единых норм в электротехнике тогда не было. Пуск объекта был запланирован на начало 1892 г. Таким образом, город Хайльбронн обязан лично Миллеру своей славой первого города в мире с трехфазным электроснабжением.

Переговоры в Лауфене и Хайльбронне велись практически в одно и то же время с обсуждением возможности возглавить работу по организации Франкфуртской выставки. Миллер придавал громадное значение транспортировке электроэнергии на большие расстояния и по примеру своей знаменитой электропередачи от Мисбаха в Мюнхен хотел устроить нечто подобное и во Франкфурте. Вначале он еще не был уверен, откуда должна идти линия электропередачи. Какое-то время было намерение использовать гидроэлектростанции у Вюрцбурга или Швайнфурта, находящихся от



Гидроэлектростанция на реке Неккар

Франкфурта примерно в 50–60 км. Однако представить на выставке нечто грандиозное привело его к идее о Лауфен-Франкфуртской электропередаче.

Пуск электростанции в Лауфене был запланирован на начало 1892 г. Миллер решил, что если изготовить генератор для Лауфенской гидроэлектростанции на год раньше, то ее можно использовать в качестве исходного пункта для передачи электроэнергии во Франкфурт. В своих воспоминаниях он позднее писал: «Я как технический руководитель Франкфуртской выставки полностью отдавал себе отчет в необходимости продемонстрировать значение недавно вышедших на первый план токов высокого напряжения посредством передачи электрической энергии на дальнее расстояние... В моем распоряжении имелась только энергия воды в Лауфене, где под моим руководством как раз и строилась первая центральная станция трехфазного тока. Расстояние от нее до Франкфурта составляло около 180 км\*, и проведенные расчеты показали, что для передачи этой энергии во Франкфурт экономичным и понятным для общественности способом потребуется напряжение минимум в 20000 В. Такие напряжения прежде еще никогда не использовались».

Миллер был прекрасно осведомлен об испытаниях «Эрликона» с применением высокого напряжения. Работы на «Эрликоне» возглавлял Чарльз Браун, руководитель электротехнического отдела фирмы. Браун имел определенный опыт по передаче электрической энергии на дальние расстояния, например, конструировал машины для передачи постоянного тока из Кригштеттена в Золотурн (1886 г.). Миллер встречается с Брауном: «В личной беседе Чарльз Браун объяснил мне, что уверен в своей способности безопасно создавать такое напряжение при помощи масляных трансформаторов и безопасно передавать его с использованием мас-

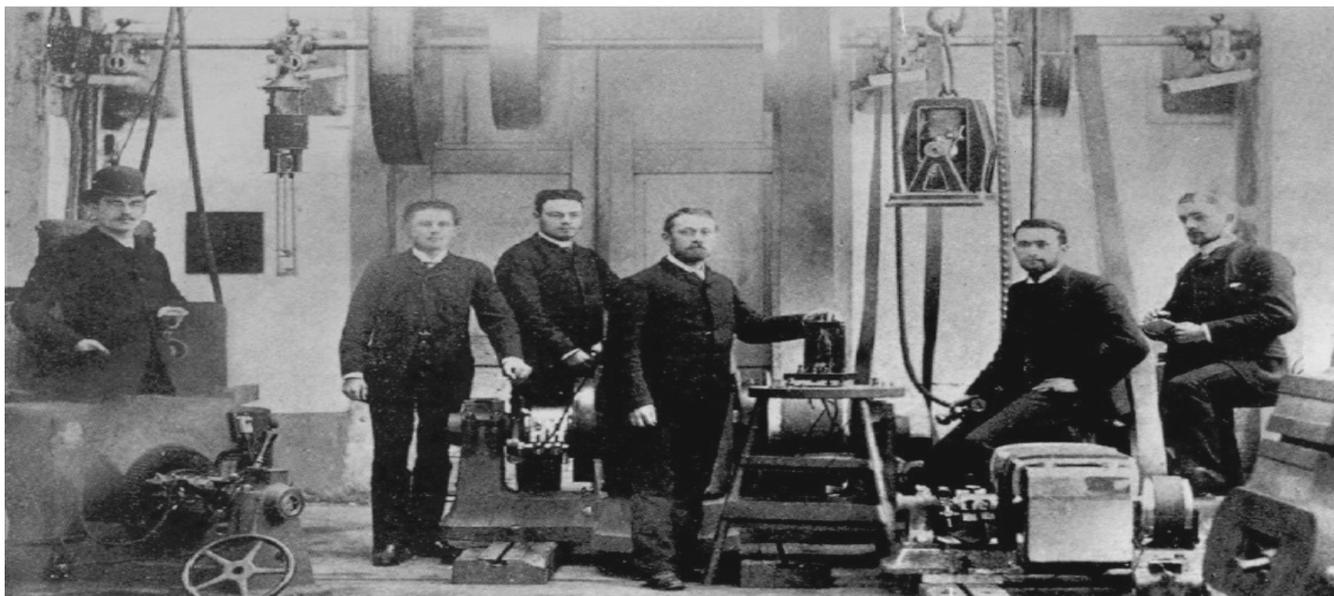
ляных изоляторов... Таким образом, я мог начинать переговоры с фирмой «Эрликон», а именно с ее руководителями Губером и Брауном, с одной стороны, и с «АЕГ», т.е. с Ратенау и Добровольским, с другой. Не хочу рассказывать о том, насколько сложно оказалось уговорить фирмы взяться за эту работу».

А вот как Доливо-Добровольский описывает момент этих переговоров: «Браун и я тотчас же чрезвычайно заинтересовались этим вопросом и постарались вызвать у дирекции наших фирм доверие к предпринимаемому опыту. При предварительном обсуждении я заявил, что напряжение в 10000 В может быть передано с абсолютной легкостью и что после некоторого предварительного изучения вопроса можно будет дойти, вероятно, до 15000 В. Браун высказался за еще более высокие напряжения, примерно 25000–30000 В». Чарльз Браун, правда, считал, что линия высокого напряжения должна быть однофазной. По его мнению, три фазы лишь усложняли и без того невероятно трудную задачу. Он был убежден, что использование трехфазной системы Доливо-Добровольского имеет только одно единственное преимущество — возможность применения трехфазного асинхронного двигателя, не имеющего щеточного механизма. В дальнейшем позиция Брауна относительно трехфазного тока выльется в серьезный конфликт между двумя учеными, разрешенный лишь спустя десятилетие.

Михаил Осипович Доливо-Добровольский, Чарльз Браун и Петер Губер сразу стали сторонниками Миллера, готовыми пойти на технический и финансовый риск. Зато Эмиль Ратенау, хозяин «АЕГ», сомневался, потому что объем работ, затраты и жесткие сроки создавали довольно существенные риски.

Исключительно удачным обстоятельством стал тот факт, что все участники этой будущей электропередачи отлично знали друг друга: Миллер и Ратенау долгие годы работали вместе, Ратенау и Губера связывала давняя дружба — они вместе окончили политехникум в Цюрихе. Между «АЕГ» и «Эрликоном» был заключен лицензионный договор. Обе фирмы вели свои исследования по трехфазным токам совместно и держали друг друга в известности о происходящем. Доливо-Добровольский должен был «информировать немедленно и подробно технического руководителя заводов «Эрликон» Брауна как об уже выполненной работе, так и о намеченной». Михаил Осипович вспоминал: «Эта информация началась с многочасовых дискуссий и затем перешла в подробную, очень откровенную, почти частную переписку... Различные варианты конструкций и проблема расчета размеров были постоянной темой при встречах Брауна со мной». Таким

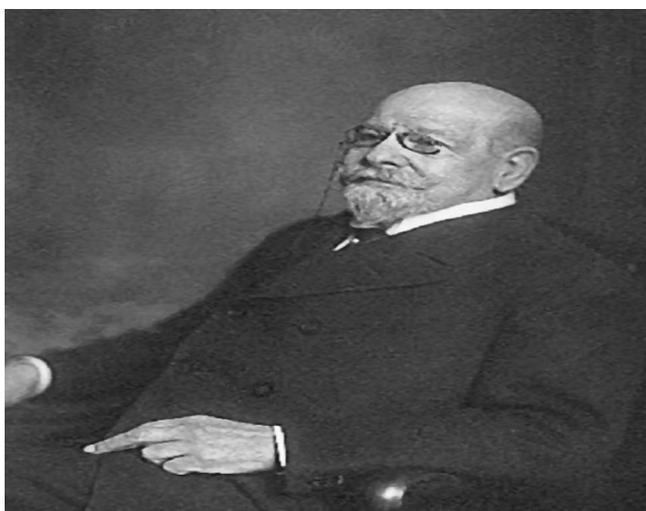
\* Позже Международная проверочная комиссия определит более точное расстояние между электростанцией в Лауфене и Франкфуртской выставкой, которое составит около 170 км.



Исследовательская электрическая лаборатория на машиностроительном предприятии «Эрликон» (1888 г.). Крайний слева – Чарльз Браун, около него – Вальтер Бовери, в центре фотографии (с бородой) – Оскар фон Миллер

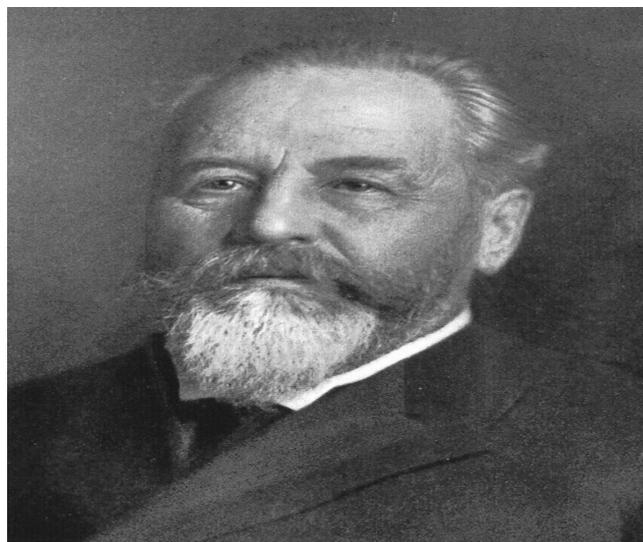
образом, в случае согласия всех участников будущего проекта его осуществляла бы уже слаженная команда, обладающая мощным техническим и научным потенциалом и практическим опытом.

4 июля 1890 г. Миллеру, наконец, удалось получить официальное письменное согласие «Эрликона» и «АЕГ», направленное руководству выставки. В письме говорилось: «Мы согласны передать гидравлическую энергию из города Лауфен-на-Неккаре во Франкфурт на расстояние около 175 км мощностью 300 л. с.... в предположении, что необходимые линейные провода будут предоставлены бесплатно...». Миллер тотчас же публикует об этом событии сообщение в «Электротехническом журнале» («*Elektrotechnischen Zeitschrift*»), отрезав тем самым все пути к отступлению.



Эмиль Ратенау

Но где взять провода? Известно, что в целом Лауфен-Франкфуртская электропередача обошлась в значительную сумму – 90634 немецких марок. Эта цифра характеризовала масштабность эксперимента, но была крайне обременительной для фирм-участников. Если бы Миллер не нашел дополнительных средств (в общей сложности около 50000 марок), то этот исторический проект просто бы не состоялся. Интересно, что крупное пожертвование для этой электрической передачи в размере 10000 марок сделал сам германский император Вильгельм II. Провод общей массой около 60 т дала в аренду фирма «Гессе и сыновья», а работы по прокладке линии электропередачи вело почтовое ведомство Германии. Миллер вспоминал через много лет: «... каких трудов стоило переубедить Имперское почтовое об-



Петр Эмиль Губер

шество, превратив его, так сказать, из Савла в Павла, и добиться того, чтобы прокладку линии поручили почтовому советнику Эберту».

Потянулись месяцы переговоров между участниками выставочного комитета и проекта. Эмиль Ротенау боялся роковой ошибки. Ответственность и риски, неопределенность результата, развернувшаяся критика проекта после публикации в прессе заставили его проверять и перепроверять. Ведь при появлении первых известий об электропередаче Лауфен–Франкфурт электротехники мира разделились на два лагеря. Одни с энтузиазмом приветствовали это смелое решение, другие отнеслись к нему как к громкой, но бесполезной рекламе. Подсчитывали возможный КПД, и, как полагали некоторые, он будет 12,5%. Еще более пессимистично настроенные лица предсказывали: «Посланный по линии ток вообще не дойдет до другого ее конца». Критики Миллера основной упор делали на неосуществимость проекта, называя его идею утопией. Одна газета иронично отзывалась о «непогрешимом инженере фон Миллере», который хочет быть умнее, чем ведущие фирмы «Сименс и Хальске» и «Шукерт и К<sup>о</sup>». Даже сам Марсель Депре, признанный авторитет в области электропередачи на большие расстояния, сомневался в экономической целесообразности проекта. Сильно помог в этот момент энтузиазм и оптимизм Петера Губера. Общественное мнение было таково, что даже инициатор этого проекта Миллер заколебался. Спустя годы он напишет Губеру: «Я никогда не забуду, сколь дальновидной и самоотверженной была

Ваша поддержка электропередачи во Франкфурте как раз в тот момент, когда запланированное мероприятие казалось почти потерянным».

Заметим, что члены команды Оскара фон Миллера не были похожи на мальчиков для битья. Еще во время Международной электротехнической выставки в Мюнхене 1882 г. Миллер понял, какое большое значение имеет пресса и как негативные статьи способны отрицательно повлиять на инвестиции в тот или иной проект. Миллер придавал этому аспекту пропагандистской деятельности первостепенное значение. К тому же рядом находился настоящий медийный магнат Зоннеманн. Еще ни одна выставка в Германии не имела столь широкого освещения в прессе. Был выпущен «Официальный каталог Международной электротехнической выставки 1891 г. во Франкфурте-на-Майне», газета «Elektrizität» и ряд других снабжали общественность выставочными новостями. Эти статьи перепечатывали другие немецкие и мировые издания и специализированные журналы. На выставке было аккредитовано 436 журналистов. Три четверти из них представляли иностранные издания. На выпады конкурентов, активно выступавших против проекта трехфазной электропередачи, пресса, задействованная Миллером, давала весьма эффективный отпор. Вот один из примеров. На протяжении почти всего 1891 г. в журнале «Электричество» печатался цикл лекций известного английского профессора Гисберта Каппа «Электрическая передача энергии». Приведем выдержку из одной его статьи: «Может быть, спросят, зачем проводить три линии проволок и брать совершенно новый тип двигателя, когда были получены такие превосходные результаты с обыкновенными динамомашинами и двигателями и только с двумя линиями проволок? Мой ответ на это будет, что при этой новой системе мы значительно расширим расстояние передачи. Я говорил о затруднениях, какие возникают в коллекторах и в изоляции машин при высоком напряжении, требуемом для передачи на большое расстояние. Теперь при трехпроводочной системе передачи переменными токами у нас нет ни коллекторов, ни даже трущихся щеток. Что касается до другого, которое относится к общей изоляции машин, то легко видеть, как можно и это устранить. Вместо того чтобы работать непосредственно, нам нужно только работать с помощью трансформаторов».

Вся эта скандальная шумиха в прессе лишь подогревала интерес общественности к эксперименту и немало способствовала его широкой известности в будущем.

(Окончание в следующем номере)

Бородин Д.А., Бородин В.Д.



Официальный каталог Международной электротехнической выставки 1891 г. во Франкфурте-на-Майне