

Из истории электротехники

Электричество, 2023, № 1, с. 61–75

DOI:10.24160/0013-5380-2023-1-61-75

Мюнхенская выставка Оскара фон Миллера. Ч. 2. Замечательный результат (к 140-летию Мисбах-Мюнхенской электропередачи М. Депре)

БОРОДИН Д.А.

ИЦ «Русэлпром», Москва, Россия

Статья посвящена истории первых силовых электропередач на большое расстояние. В 1873 г. французский инженер И. Фонтен передал электрическую энергию от динамо-машины к двигателю постоянного тока на километровую дистанцию. КПД этой электропередачи был ничтожен, но эксперимент получил широкую известность и заинтересовал многих ученых. Однако низкий уровень развития электротехники, отсутствие потребителей электроэнергии, дороговизна и слабая надежность электрооборудования не позволили в короткий срок решить проблемы эффективности электропередач. После появления в 1876 г. системы освещения П.Н. Яблочкива и электротехнического рынка вопрос создания электропередач становился все актуальнее. Теоретические исследования ряда электротехников (Д.А. Лачинов, О. Фрёлих, М. Депре и др.) показали пути повышения КПД электропередач, который мог быть выше 50 %. Эти работы столкнулись с непониманием со стороны многих именитых электроинженеров того времени. Требовалась практические доказательства. В статье рассказывается о центральном мероприятии Мюнхенской выставки 1882 г. – передаче электрической энергии на расстояние 57 км из Мисбаха в Мюнхен, реализованной Марселеем Депре и Оскаром фон Миллером. По сути, это был первый опыт создания высоковольтной линии электропередачи постоянного тока в истории. Смелый эксперимент электропередачи на столь значительное расстояние имел огромное значение в развитии электроэнергетики и послужил импульсом для ускорения работ в этом направлении.

Ключевые слова: Международная электрическая выставка в Мюнхене 1882 г., Ипполит Фонтен, Дмитрий Александрович Лачинов, Марсель Депре, Оскар фон Миллер, Корнелиус Герц, силовые электропередачи, Мисбах-Мюнхенская электропередача

Прежде чем продолжить рассказ об электротехнической выставке 1882 г., совершим экскурс в историю техники и опишем некоторые события, связанные с передачей энергии на расстояние. Формат статьи, к сожалению, не позволяет обстоятельно раскрыть столь обширную тему. Для более детального знакомства с этим вопросом отправим читателей к источникам [1–3]. Из многообразия информации мы выбрали лишь несколько фактов, которые, на наш взгляд, наиболее полно объясняют логику действий организаторов выставки в Мюнхене, приведшую их к экспериментам по транспортировке электрической энергии.

По словам известного электротехника Гисберта Каппа (*Gisbert Kapp*): «Передача энергии, каким бы способом она не производилась, составляет один из наиболее важных вопросов прикладной механики. Энергия, развиваемая паровой фабричной машиной,

получает значение для прядильщика или ткача только после того, как она будет передана прядильной машине или ткацкому станку» [4]. Дистанция между источником энергии и приводным механизмом в 1870-е гг. не превышала сотен метров: применялись длинные валы, цепи, приводные ремни, гидравлические и пневматические системы под давлением, «телединамические», или канатные, передачи. Последний способ передачи силы был распространен там, где использовалась энергия рек и водопадов. Гисберт Капп писал, что: «Едва ли есть хоть один большой завод или фабрика в Швейцарии или Южной Германии, где бы не оказалось веревочной передачи. ... До последнего времени веревочная передача господствовала безусловно не вследствие того, что она совершенна, а потому, что не было ничего лучше» [5]. Вместе с тем, был уже очевиден максимальный предел передачи мощности подобными

механическими системами, который ограничивался примерно 330 л.с. на один канат. При больших мощностях приходилось строить передачи с большим числом канатов, что многократно усложняло конструкцию, увеличивало ее стоимость и уменьшало надежность. О надежности подобных систем передачи необходимо сказать еще несколько слов. Канаты быстро изнашивались, они были весьма капризны к климатическим изменениям, в результате чего их необходимое натяжение постоянно менялось: они либо проскальзывали на шкивах, либо чрезмерно натягивались. КПД всей механической передачи был невелик и зависел от ее длины. Очень часто приходилось прерывать работу и сращивать порванные концы канатов между собой или менять канат целиком.

Если в качестве энергетического сырья выступал уголь, то было проще подвозить его на десятки и сотни километров непосредственно к потребителю и там утилизировать. Для водных ресурсов такой возможности не было, и первые потребители гидроэнергии были жестко связаны с гидравлическими машинами (турбины, водяные колеса).

Поначалу электрическая энергия ввиду дороговизны и редкости практического применения не бралась в расчет, но с появлением первых сравнительно недорогих электрических генераторов и двигателей в конце 1860-х – начале 1870-х гг. передача электроэнергии на расстояние начинала приобретать некоторую практическую значимость.

Всеобщий интерес к электропередаче на большое расстояние был вызван весьма курьезным случаем, произошедшим на Венской выставке 1873 г. с французским инженером Ипполитом Фонтеном (*Hippolyte Fontaine*) (рис. 1), управляющим заводом знаменитого изобретателя электрических машин Зеноба-Теофила Грамма (*Zénobe-Théophile Gramme*).



Рис. 1. Ипполит Фонтен
Fig. 1. Hippolyte Fontaine

Под влиянием непредвиденных обстоятельств была впервые осуществлена электропередача на дистанцию чуть более километра. Как и все великие открытия, этот случай оброс со временем легендами и анекдотами. Американский электротехник Томас Коммерфорд Мартин (*Thomas Commerford Martin*) с некоторой ironией написал: «Это был первый пример электрической передачи на расстояние. Всегда интересно вернуться к истокам нового изобретения, но не всегда легко определить, было ли оно результатом случайности и необходимости или результатом ясного, разумного предвидения со стороны изобретателя, работающего на конкретную цель» [3]. Относительно первой передачи энергии электричеством мнения разделились. По версии французского популяризатора науки Луи Фигье (*Louis Figuier*), причиной открытия стала чистая случайность. Получив исходную информацию от очевидцев тех событий, Фигье утверждал: «На Международной выставке в Вене в 1873 г. компания «Грамма» выставила две машины. Одна из этих машин (генератор) была в движении, и рабочий, заметивший, что по земле тянутся кабели, думая, что они принадлежат второй машине (двигатель), вставил их в ее клеммы. К всеобщему удивлению, эта вторая машина, стоявшая неподвижно, начала вращаться сама по себе, передавая механическую энергию на расстояние» [3].

Сам Ипполит Фонтен возражал Фигье и считал, что его открытие было плодом не случайности, а умственных усилий. В его книге «Электрические передачи» можно прочесть: «1 июня было объявлено, что Машинный зал выставки будет официально открыт Императором (Австрии – прим. авт.) в 10 часов 3-го июня. Тогда ничего не было готово, но те, кто был в подобных ситуациях, знают, насколько могут быть приведены в порядок стенды в течение 48 часов, как раз перед открытием большой выставки. ... В моем распоряжении были: динамо-машина Грамма для гальванопокрытий, дающая ток 400 ампер при 25 вольтах (эта машина приводилась в действие газовым двигателем); маленькая магнето-машина Грамма, которую я намеревался использовать как двигатель от батареи или от аккумулятора Планте, чтобы продемонстрировать обратимость динамо Грамма; паровая машина; центробежный насос, установленный на большом резервуаре и предназначенный для питания искусственного фонтана. Чтобы немного разнообразить эксперименты, я устроил центробежный насос таким образом, чтобы он мог управляться либо электродвигателем Грамма, либо паровой машиной. Но я никак не мог запустить маленький двигатель Грамма с помощью батареи. Это раздражало меня тем больше, что я главным образом хотел показать обратимость новых электрических машин. Весь вечер и всю ночь я пытался найти выход из этого беспорядка, и только утром 3-го числа, за несколько часов до прохода императора, мне пришла в голову идея обойтись без батареи, используя большой

генератор Грамма. Поскольку у меня не было необходимой для этого проводки, я обратился к представителям фирмы «Манхис» (*Manhis*) из Лиона, которые любезно одолжили мне первые 250 м кабеля. После подключения провода между генератором и двигателем, магнето-машина не только пришла в движение, но и дала столько энергии, что вода начала вылетать из насоса за пределы емкости. Я стал добавлять кабель в цепь до тех пор, пока поток воды не вернулся в норму. Общая протяженность цепи составила на тот момент более 2 км. Столь большая протяженность кабеля навела меня на мысль, что при помощи двух машин Грамма можно транспортировать силы на большое расстояние. Я обсуждал эту идею с разными людьми и опубликовал ее в *Revue Industrielle* («Промышленном обозрении») в 1873 г., а впоследствии – в своей книге о Венской выставке. Известность, которую в результате получила эта история, была настолько быстрой и столь значительной, что у меня не имелось ни времени, ни даже мысли о приобретении патента на мое изобретение, чтобы сохранить его преимущества» [6]. Фонтен, обычно весьма сдержаный в эмоциях, в одной из своих книг написал: «Электродвижущую силу впервые перевезли более чем на километр, без жесткой трансмиссии, без телединамического троса, без сжатого воздуха, без сжатой воды; ничего, кроме двух проводов, которые могли следовать за всеми изгибами и поворотами любого пути!» [7].

КПД этой электропередачи был ничтожен. Практически вся электрическая энергия уходила на джоулевые потери в кабеле. К сожалению, история не сохранила визуальные свидетельства эксперимента Фонтена. Приведем лишь изображения описанных выше генератора и двигателя (рис. 2 и 3).

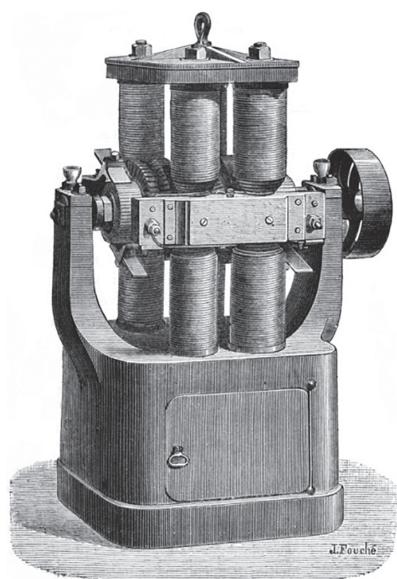


Рис. 2. Динамо-машина Грамма для гальванопокрытий

Fig. 2. Dynamo of Gram for electroplating

Несмотря на эксперимент 1873 г., радикальных перемен в электропередаче на километровые дистанции в последующие годы не наступило. Открытие И. Фонтена опередило время. Причины заключались в крайне низком уровне развития электротехники, отсутствии потребителей электроэнергии, дороговизне и слабой надежности электрооборудования. Паровые машины господствовали на производстве, а помещения освещались газом. Электричество расценивалось как роскошь, и время массового заказчика еще не наступило.

В 1875 г. французский электротехник Альфред Ниоде (*Alfred Niaudet-Bréguet*) в своей книге «Магнитоэлектрические машины Грамма» попробовал оценить значение эксперимента Фонтена по передаче электрической энергии: «Эта идея требует размышлений и изучения для своего развития, но, конечно, она не может не впечатлять инженеров: потому что это облегчает использование силы водопадов, столь обильных в горах и вдали от самих гор; позволяет использовать силу приливов и т.д. ... Перенос промышленности рядом с этими водными ресурсами – дело непростое; тем легче может быть переброска электрической силы в соседние города, где существует промышленность, которая в ней нуждается. ... Ничто не препятствует тому, чтобы большая машина Грамма или одна из них, приводимая в движение турбинами, установленными рядом с плотиной, посыпала в Париж в будущем электрический ток, достаточный для того, чтобы привести в движение другие машины Грамма на фабриках или в мастерских, избавляя промышленников от бремени и расходов на питание паровой машины. Наверняка на этом пути могут возникнуть непредвиденные трудности; но мы без колебаний предсказываем промышленную и экономическую революцию, основанную на этой новой комбинации» [8].

Ситуация радикально поменялась с изобретением в 1876 г. системы освещения П.Н. Яблочкива. Из электрической свечи начала вырастать целая отрасль, которой быстро стало тесно в «прокрустовом ложе» старых понятий о передаче силы на расстояние. Элек-

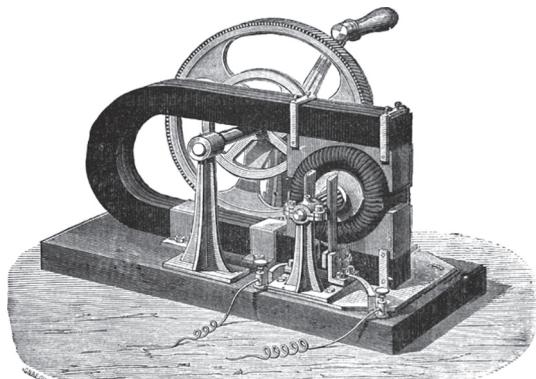


Рис. 3. Магнето-машина Грамма

Fig. 3. Magneto machine of Gramm

трификация больших зданий, улиц, городов, фабрик и пр. потребовала дистанций, измеряемых сотнями и более метров между источником энергии и потребителем. Таких проектов в конце 1870-х гг. насчитывалось многие десятки, но электропередачи на километры казались для электротехников тех лет бесперспективными по причине громадных потерь электроэнергии. Так, в 1878 г. была освещена в Париже свечами Яблочкива целая улица длиной около километра. Расстояние между несколькими небольшими генерирующими станциями и светильниками было около 250 м, но это уже была практически стандартная задача, не вызывающая проблем у электриков [9]. В 1879 г. были проведены эксперименты на 1-километровом участке набережной Темзы в Лондоне. Расстояние в этом случае между питающим генератором и крайними светильниками составляло около 700 м [10, 11].

Тогда уже было очевидно, что существует два основных пути для повышения эффективности транспортировки электроэнергии: либо увеличить сечение провода, или повысить напряжение в сети, уменьшив этим джоулевые потери. Первый способ был очень дорогим. Он имел своих сторонников, например Вернера фон Сименса (*Werner von Siemens*) и Фёдора Аплоновича Пироцкого, строивших свои линии электропередачи для первых электрических трамваев [3, 12]. Протяженность этих линий не сильно отличалась от километра, электричество передавалось по рельсам, но когда речь шла о десятках километров и требовался кабель, то все упиралось в безумную стоимость проектов.

Второй способ – повышение напряжения сети – столкнулся с рядом непреодолимых трудностей, связанных с уровнем развития электротехники. В те годы в мире господствовали технологии постоянного тока. Снять тысячи вольт с коллекторов динамо-машин было практически невозможно. Отсутствовали надежные изоляционные материалы для электрических машин. Требовалось также создавать новые линии электропередачи на высокие напряжения. Все понимали, что будут утечки из-за плохого качества существующих изоляторов, и это являлось отдельной серьезной задачей. Но главное, что тысячи вольт, подведенных к потребителю, было практически невозможно использовать: двигатели постоянного тока не могли работать при таких напряжениях, эксплуатация осветительных систем как дуговых, так и с лампами накаливания была также немыслима. К тому же электрики и потребители не проявляли желания обслуживать установки с такими опасными напряжениями. Эти трудности могли быть частично преодолены при выстраивании нескольких генераторов и потребителей электроэнергии в последовательную цепь. Но затраты на создание такой линии передачи были очень значительными, что откладывало ее реализацию. Полностью же решить задачи дальних электропередач могли только технологии переменного тока, которые находились в зачаточном состоянии и не

пользовались особым вниманием электротехников, за исключением работ, связанных с системой освещения П.Н. Яблочкива.

Поэтому в электротехническом сообществе преобладало весьма скептическое отношение к дальним электропередачам. Все понимали, что это важная проблема, но ее реализацию не сопоставляли с текущим днем. Сам Ипполит Фонтен писал в 1885 г.: «Тогда, как и сегодня, я не верю в возможность электрической передачи больших мощностей на большие расстояния. ... Я думал тогда и думаю до сих пор, что при нынешнем уровне наших знаний в области конструирования электрических машин едва ли можно делать с ними что-либо, кроме передачи силы на короткие расстояния. Например, лебедок, вентиляторов и вообще всех машин, которые сегодня приводятся в движение ремнями, канатами, телединамическими тросами и т.д.» [6].

Тем не менее, в литературе конца 1870-х гг. появилось несколько серьезных публикаций, посвященных дальним электропередачам: Альфреда Ниодэ-Бреге (*Alfred Niaudet-Breguet*) [13], Элётара-Эли-Николы Маскара (*Éleuthère Élie Nicolas Mascart*) [14], Уильяма Эдварда Айртона (*William Edward Ayrton*) [15, 16] и др.

Еще одно обстоятельство вносило путаницу в умы электротехников того времени. Телеграфные линии стали довольно распространенным явлением. Связь уверенно осуществлялась на дальние расстояния с помощью малых токов. Для получения максимальной протяженности телеграфной связи в этом случае необходимо было передавать в линию как можно большую мощность. Первый, кто решил эту задачу, был русский ученый Борис Семёнович Якоби. Еще в далеком 1840 г. он опубликовал свои исследования на эту тему, которые получили названия «теорема Якоби» или «закон Якоби» [17]. Максимальная передача мощности осуществлялась при согласовании сопротивления приемного устройства, внутреннего сопротивления источника и сопротивления линии передачи. Но при этом режиме КПД электропередачи не мог превышать 50 %. Этот закон не имеет совершенно никакого отношения к эффективности силовой электропередачи. Тем не менее, его часто ошибочно принимали именно за закон, которому она подчинялась. Утверждали, что максимальный КПД системы генератор–линия–электропередачи–двигатель может быть не более 50 %. Так, даже в 1882 г. на Съезде членов Императорского русского технического общества был прочитан доклад «Передача работы на расстояние электричеством», в котором были приведены данные экспериментальных исследований по передаче работы на расстояние машинами Грамма типа С. Результаты экспериментов показывали, что максимальный КПД электропередачи достигал около 57 %. Тем не менее, автор доклада считал этот результат ошибочным и ссылался именно на закон максимальной мощности: «Теория утверждает, что количество передаваемой работы не будет больше

50 %. ... Причину этого разногласия между теорией и практикой нам кажется следует искать в неизбежных неточностях опыта» [18].

С начала 1880-х гг. значительно увеличивается интерес электротехников к решению проблем дальних электропередач. Практически одновременно, независимо друг от друга, появилась целая серия работ, среди которых следует, прежде всего, отметить публикации русского электротехника Дмитрия Александровича Лачинова и французского ученого Марселя Депре (*Marsel Deprez*). Несколько статей Д.А. Лачинова были опубликованы в журнале «Электричество» в 1880 г. В них всесторонне обосновывалось, что электропередачи на большие расстояния не только выполнимы, но и могут быть весьма эффективными с КПД, превышающим 50 %. В статьях делался важный вывод о том, что: «... полезное действие не зависит от сопротивления (линии электропередачи – прим. авт.), следовательно, можно передавать работу даже на весьма значительные расстояния, не опасаясь экономических невыгод» [19]. Д.А. Лачинов предлагал при увеличении длины провода линии повышать напряжение генератора. В изложении Дмитрия Александровича эта рекомендация звучала так: «Если, например, увеличим R (сопротивление линии передачи – прим. авт.) в 100 раз, то при передаче того же числа лошадиных сил скорость будет десятерная» [20]. Увеличение скорости генератора означало повышение его напряжения.

Подобное заключение можно увидеть и в работах Марселя Депре (рис. 4.). Коротко расскажем о научных интересах этого выдающегося инженера и ученого. Луи Фигье в своей знаменитой книге «Новые завоевания науки. Электричество» дал Депре весьма лестную оценку: «Работы Депре можно разделить на три направления: первое относится к паровым машинам;



Рис. 4. Марсель Депре
Fig. 4. Marsel Deprez

второе касается изучения высоких давлений и очень быстрых перемещений; последнее относится к электричеству. Он является воплощением математического гения, особенно применительно к вопросам механики. Он создал аппаратуру для измерения и регистрации колоссальных давлений, развиваемых гремучими газами в канале ствола орудий, а также огромных скоростей, сообщаемых снаряду за чрезмерно короткое время. Из тех же математических принципов, с замечательным искусством, он вывел метод измерения давления и скорости на железных дорогах» [21]. В 1874 г. Депре приступил к работам в области электротехники. Французский инженер разработал ряд физических измерительных приборов: вольтметр, вошедший в историю под названием вольтметра Депре–Карпанье, гальванометр, позднее усовершенствованный совместно с Жаком Арсеном д'Арсонвалем (*Jacques Arsène d'Arsonval*) [22], хронограф и др. В 1878 г. Депре создал весьма компактный и практичный электродвигатель для привода маломощных производственных машин (это устройство получило применение в швейных машинах и велосипедах) [23]. В этом же году Депре спроектировал серию приборов для путевых динамометрических измерений. Известность приобрели также его работы в области синхронной передачи движения на расстояние [24].

15 марта 1880 г. М. Депре выступил в Парижской академии наук с докладом «Об экономической эффективности электродвигателей и об измерении количества энергии, проходящей через электрическую цепь», в котором осветил ряд вопросов, касающихся повышения КПД электропередач [25]. В августе 1881 г. в преддверии Международной электрической выставки французский электротехник опубликовал в нескольких номерах журнала *«La Lumière Électrique»* статью «Электропередачи на большие расстояния», которая затем была перепечатана журналом «Электричество». В статьях Депре всесторонне обосновывалось, что при увеличении напряжения в линии и соответствующем снижении тока в ней джоулевые потери также уменьшаются. После многочисленных математических выкладок М. Депре констатировал: «...Полезное действие электропередачи не зависит от сопротивления цепи, соответственно, можно передавать энергию на большие расстояния, не опасаясь неэффективности такой передачи» [26–28].

Представляет также большой интерес факт испытания в 1881 г. нового типа машин Грамма, предназначенных для передачи электрической мощности на километровые дистанции. Машина имела несколько модификаций, передаваемая мощность варьировалась от 2 до 16 л. с. В качестве линии электропередачи выступала медная проволока диаметром в 4 мм. И. Фонтен привел несколько экспериментальных цифр, позволяющих судить об уровне развития электропередач того времени: «... можно легко передавать две лошадиные силы на расстояние в 1500 метров и получить

при этом полезное действие почти в 50 %. Результат этот в высшей степени замечателен и достигнут был до сих пор лишь с машинами Грамма. ... Когда между машинами вводилось сопротивление в 6 километров, приходилось значительно увеличивать скорость и полезное действие все-таки падало до 32 %» [29]. Далее И. Фонтен сделал вывод, показывающий типичный подход электротехников к силовым электропередачам на тот момент: «Существует возможность увеличить несколько полезное действие машин. Достаточно для этого увеличить скорость приемной машины (повысить напряжение – прим. авт.), не требуя от совокупности их всей работы, какую они могут производить, но лишь незначительную ее часть (не передавать максимальную мощность – прим. авт.). Тем не менее, для того чтобы напрасно не изнашивались подвижные органы и для того, чтобы не увеличивать чрезмерно вес, а следовательно, и цену машин, должно довольствоваться полезным действием от 40 до 50 %, смотря по расстоянию» [29]. Т.е. И. Фонтен предлагал обойти трудности и затраты, связанные с повышением напряжения в линии электропередачи, и пренебречь более высоким показателем КПД.

Одним из интереснейших экспонатов Международной электрической выставки в Париже в 1881 г. была система Марселя Депре, демонстрирующая сложное распределение электрической энергии. Оборудование включало две динамо-машины, подающие постоянный ток по кабелю длиной 1,8 км на 27 различных устройств, которые работали независимо друг от друга: швейные и плиссировочные машины, устройства для плетения металлической проволоки, ленточные пилы, лампы накаливания и дуговые лампы, печатный станок [30]. За выдающийся вклад в развитие электротехники М. Депре был вручен Почетный диплом изобретателя (*Diplômes d'honneur décernés aux inventeurs*), что было очень престижно. Таких дипломов было всего 11, и среди удостоенных этой награды были: Т.-З. Грамм, В. Сименс, Александр Грэйям Белл (*Alexander Graham Bell*) и Т.А. Эдисон (*Thomas Alva Edison*).

На пятом общем заседании Конгресса электриков, проходившем одновременно с выставкой, М. Депре выступил с докладом «О разделении и распределении электрических токов» [31]. По мнению очевидца этого выступления Д.А. Лачинова, доклад был не совсем удачным: «Марсель Депре говорит с поразительной быстротой и за его беглой речью трудно уследить иностранцу, не владеющему в совершенстве французским языком. Сименс заявляет, что он, к сожалению, не был в состоянии вполне уследить за необыкновенно быстрым течением мысли оратора, но, насколько он может судить, поднятый вопрос уже был решен совершенно подобным же образом Фрёлихом в его работе, напечатанной в *«Elektrotechnische Zeitschrift»* (ETZ) в апреле-мае 1881 г. Сименс просит присоединить перевод этой статьи к подробному протоколу нынешне-

го заседания» [32]. Здесь необходимо дать некоторые пояснения. Немецкий электротехник Эмиль Адольф Оскар Фрёлих (*Emil Adolf Oskar Frölich*) был заведующим лабораторией *«Siemens & Halske»* в Берлине и провел исследования по передаче электроэнергии от источника к приемнику, но в его работах не были четко показаны пути увеличения КПД электропередач на большие расстояния, как это сделали М. Депре и Д.А. Лачинов [33, 34].

Не совсем дипломатичную, но очень точную оценку описанного выше эпизода дал Луи Фигье: «М. Депре начал с изучения законов электрического переноса силы и сформулировал их просто и ясно. Фактически он утверждал, что эффективность не обязательно должна снижаться с увеличением расстояния, и сформулировал этот ставший знаменитым принцип, согласно которому эффективность теоретически не зависит от расстояния. ... Эти простые взгляды и эти прозрачные теории, которые привели к такому большому прогрессу в столь важном вопросе, должны были быть восприняты в научном мире с безграничной радостью. Этого не произошло, и трудно себе представить то облако противоречий, которое возникло вокруг утверждений изобретателя, когда он впервые сделал их публично. Это было на Международном электрическом конгрессе в Париже в 1881 г. Большинство членов этого конгресса отвергли идеи новатора. Некоторые теоретики, уже вступившие на тот же путь, не восприняли смелого бегуна, который обогнал их. Сопротивление и неверие были общими» [21].

Но доклад М. Депре весьма впечатлил и вдохновил молодого Оскара фон Миллера, который присутствовал на том заседании Конгресса [35]. И этот факт затем сыграет большую роль как в судьбе М. Депре и О. Миллера, так и в мировой истории электропередач.

Вернемся к проведению Мюнхенской выставки 1882 г. Первоначально организационный комитет планировал во время проведения выставки осуществить передачу электрической энергии на расстояние всего в 4 км. От гидроэлектростанции электроэнергия должна была поступать в павильон выставки на электродвигатель, приводящий в движение насос, качающий воду для искусственного водопада [36]. Реализовать этот проект должна была французская фирма «Соте, Лернонье и Ко» (*Sautter, Lernonnier & Co*). Но спустя два месяца после начала общения с этой компанией она неожиданно отказалась участвовать в подобном эксперименте. Для всей команды организаторов выставки это был еще один серьезный удар. И только после этого известия Миллер стал задумываться о возможности проведения эксперимента по дальней электропередаче с помощью Марселя Депре.

Но Миллера несколько смущала смелость идеи Депре о том, что КПД электропередачи не зависит от длины линии. На расстояния в десятки километров еще никто не проводил подобных опытов. Риск

провала эксперимента был очень большим. Поэтому Оскар фон Миллер решил параллельно реализовать более «спокойный» вариант. После проведения переговоров с фирмой «Шукерт и К°» эта фирма дала согласие на участие в электропередаче протяженностью в 5 км. Для этого была изготовлена на заводе «Маффеи» (*Maschinenfabrik Maffei*) в Хиршau динамо-машина мощностью в 9 л. с. Генератор был размещен в Хиршau (Английский парк в Мюнхене) и вращался с помощью гидротурбины, использующей энергию воды реки Изар. Проводниками служили два медных провода диаметром 4 мм с общим сопротивлением в 9,6 Ом. Напряжение, вырабатываемое генератором, составляло 655 В.

В дневное время электрический ток этой установки давал питание электродвигателю, который находился в «Хрустальном дворце». Было предусмотрено два варианта передачи мощности от двигателя к исполнительным механизмам: в первом обеспечивалась работа токарного станка и механического цеха (рис. 5); во втором мощность передавалась на две молотилки, работающие на холостом ходу (рис. 6). КПД всей электропередачи соответствовал примерно 33 %.

В ночное время установка питала 11 дуговых ламп мощностью по 1000 свечей каждая, 4 из которых находились в саду выставки и 7 помещались на площади Кенигсплац (рис. 7) [3, 37, 38].

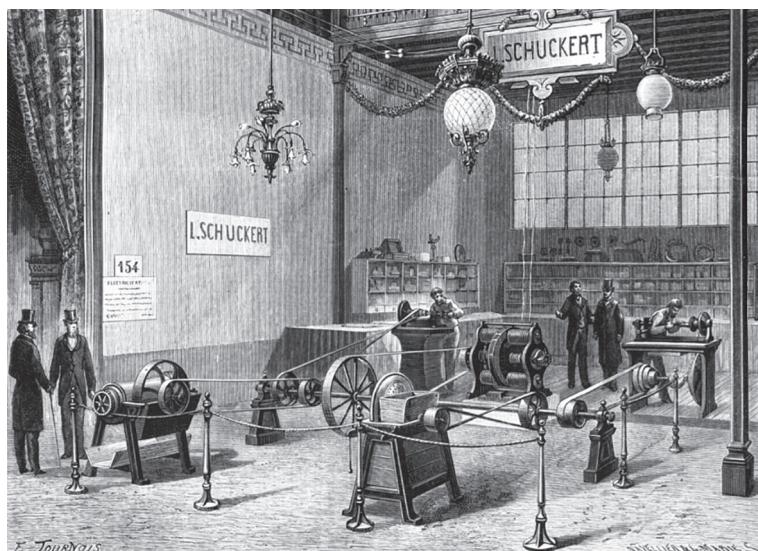


Рис. 5. Электропередача «Шукерт и К°». Работа токарного станка и механической мастерской

Fig. 5. Power transmission "Shukert and C°.". Lathe operation and mechanical workshop

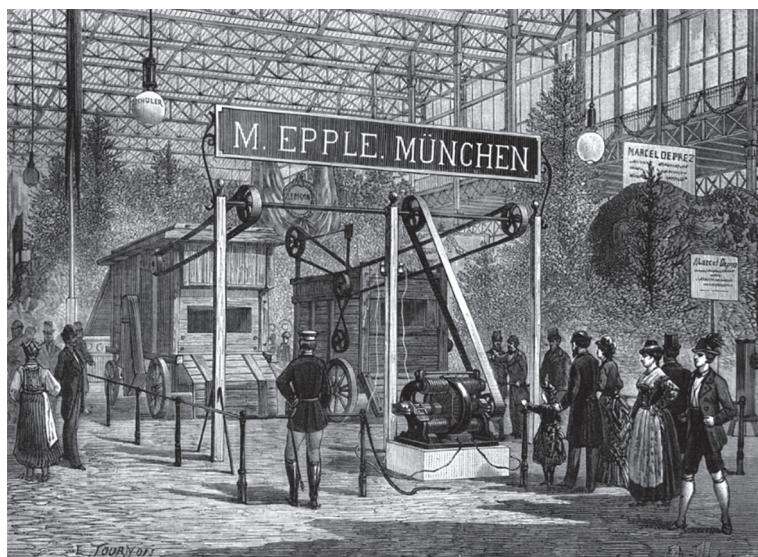


Рис. 6. Электропередача «Шукерт и К°». Передача мощности к двум молотилкам

Fig. 6. Power transmission "Shukert and C°." Power transmission to two threshers

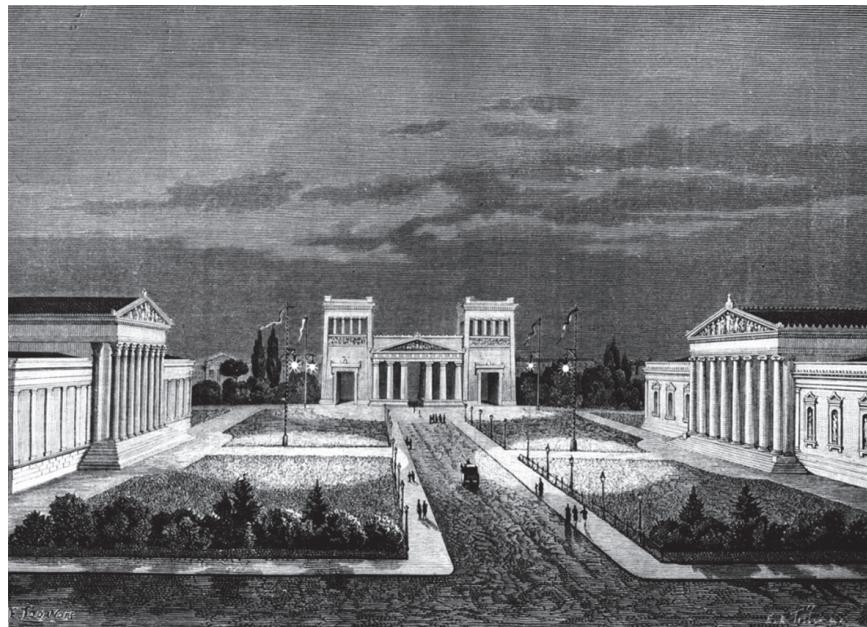


Рис. 7. Освещение площади Кёнигсплац в Мюнхене

Fig. 7. Illuminated Koenigsplatz in Munich

Решение о сотрудничестве с Депре было принято только после получения письма в адрес руководства Мюнхенской выставки от владельца парижского журнала «*La Lumière Electrique*», крупного магната на электротехническом рынке, доктора Корнелиуса Герца (*Cornelius Herz*), который предложил предоставить необходимые финансовые средства в случае проведения Марселя Депре своего эксперимента электропередачи на дальнее расстояние. В качестве гарантии выступал сам барон Альфонс Ротшильд (*Alfons Rothschild*) и журнал «*La Lumière Electrique*» [36]. Журнал «*La Lumière Electrique*» послал на выставку несколько лучших своих журналистов и рисовальщиков и весьма подробно освещал все моменты, связанные с проведением этого мероприятия [39]. Не лишним будет напомнить читателям тот факт, что Корнелиус Герц был главным инициатором проведения Международной электрической выставки в Париже 1881 г. Имя этого выдающегося электротехника было позже опорочено в связи со скандалом вокруг Панамского межокеанского канала и сейчас незаслуженно забыто [40].

Миллер решился на столь отчаянный эксперимент. 26 мая 1882 г. (т.е. спустя три месяца с начала подготовки к выставке) он написал письмо Депре, в котором предложил ему участие в электропередаче: «Принимая во внимание, что Вы первый сделали общественным достоянием чрезвычайно важные и остроумные расчеты распределения электрического тока и передачи электрической энергии на дальние расстояния, мы прежде всего хотим обратиться к вам с просьбою, не будете ли вы добры провести здесь описанные вами опыты. В случае вашего согласия баварское министерство иностранных дел охотно предоставит в ваше распоря-

жение телеграфную линию в 25–50 км длины и даст разрешение на пользование всеми необходимыми для цепи установками. Хотя в настоящее время и не существует машин, отвечающих вашим требованиям изоляции и электродвижущей силы, вследствие чего не может быть достигнут максимальный полезный эффект, тем не менее, передача электроэнергии на обширные пространства уже сама по себе имеет огромное значение и может явиться важной составной частью нашей выставки. Мы были бы чрезвычайно рады, если бы опыты, поставленные в таком большом масштабе, сделали имя Депре так же знакомым всему народу, как оно сейчас известно каждому германскому ученому и технику» [35].

Марсель Депре размышлял еще месяц и дал свое согласие. Депре предоставил две машины постоянного тока конструкции Грамма типа А. Первоначально планировалось использовать для эксперимента телеграфную линию. Журнал «Электричество» написал в августе 1882 г. короткую заметку по этому поводу: «Французский инженер Марсель Депре изъявил готовность во время выставки передать силу из Аугсбурга в Мюнхен (на 60 километров) по простой телеграфной проволоке. Этой силой на выставке будут приводиться в движение сельскохозяйственные машины» [41]. Но последующие изыскания показали, что изоляция электрических проводов, подвешенных на металлических опорах этой трассы, была весьма ненадежна. Поскольку наличие хорошей изоляции было основным критерием успеха [42], было выбрано следующее решение. На существующие деревянные опоры от Мисбаха до Мюнхена телеграфный инспектор Иоганн Берингер (*Johann Behringer*) распорядился провесить второй

телеграфный провод толщиной в 4,5 мм. Участники эксперимента отказались от идеи использовать землю в качестве обратного провода, и поэтому в чрезвычайной спешке пришлось прокладывать второй обратный провод. Об этом эпизоде с восторгом написал журнал «*La Lumière Électrique*»: «Большая часть оглушительного успеха, достигнутого Депре, безусловно, связана с активностью, предпринятой при прокладке второго провода, необходимого для возврата тока. Мы можем получить представление о чрезвычайной скорости этой операции, когда скажем, что провод длиной около 60 км был проложен менее чем через шесть дней после запроса, сделанного представителем г-на Депре! Вероятно, что в других странах этого срока не хватило бы даже для передачи запроса компетентному министру» [43]. Миллер самолично проехал всю линию и нашел ее в прекрасном состоянии. Протяженность линии получилась в 57 км. Удачным обстоятельством было наличие в Мисбахе свободного парового двигателя, который был предоставлен в распоряжение организационного комитета выставки Управлением угольных шахт Верхней Баварии [36].

Генератор и двигатель постоянного тока, участвующие в эксперименте, имели специальную конструкцию с высокопрочной изоляцией, выполненной из шелка. Мощность передающей машины (генератора) составляла примерно 2 л. с. при 2000 об/мин (рис. 8). Вырабатываемое напряжение было около 2000 В. Вторая машина (двигатель) находилась в «Хрустальном дворце» и приводила во вращение центробежный насос,

подающий воду для фонтана в виде водопада высотой примерно 2,5 м (рис. 9).

Организаторы выставки продолжали опасаться больших рисков при проведении подобного эксперимента. Поэтому первый пуск был проведен 16 сентября 1882 г. поздно вечером в 23.00, когда посетители выставки покинули ее территорию. Депре специально приехал из Франции для проведения столь значимого испытания. При эксперименте находились также члены специальной комиссии в составе профессоров Киттлера, Беца, Дорна и др. Оскар фон Миллер по телефону дал команду в Мисбахе. Все стали напряженно ожидать результата. Миллер впоследствии написал: «Внезапно мотор стал вращаться – быстрее и быстрее, и вот заработал водопад, который должен был приводиться в действие этим мотором. Сегодня уже никто не может себе представить, какое изумление охватило всех в эту минуту. Марсель Депре пришел в такой восторг, что бросился мне на шею и расцеловал» [44].

В то же время этот новаторский эксперимент преследовали весьма серьезные неудачи. Используемые электрические машины были плохо приспособлены к такому высокому напряжению. Журнал «*La Lumière Électrique*» писал: «Ряд несчастных случаев, связанных с тем, что машины были построены для лабораторных опытов, а не для практического использования, положил конец вполне удовлетворительной до сих пор работе машин через восемь дней» [45]. В самом начале испытаний произошла поломка машины, которую, правда, быстро устранили. Затем у динамо-машины в

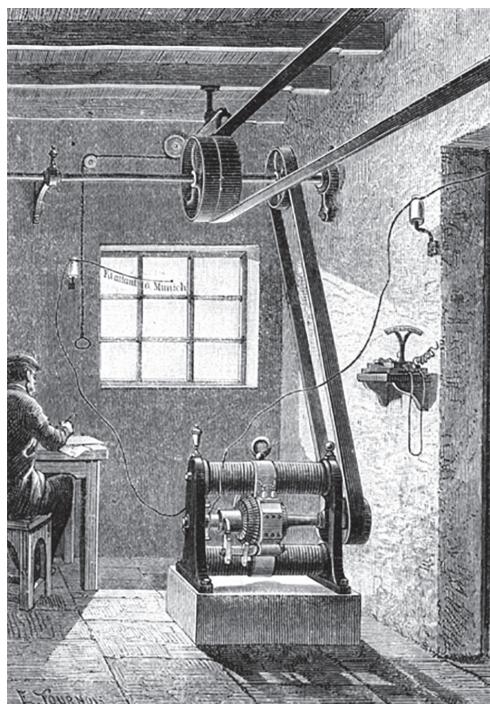


Рис. 8. Генераторная установка в Мисбахе

Fig. 8. Generator plant in Miesbach



Рис. 9. «Фонтан электропередачи» в Мюнхене

Fig. 9. «Power transmission fountain» in Munich

Мисбахе пробило обмотку якоря. Вся установка показала свою полную непригодность к долговременной эксплуатации. Из-за больших проблем с электропередачей испытательная комиссия провела свои измерения только 9–10 октября 1882 г., да и то в течение короткого времени. Во время этого испытания «удалось достичь на отремонтированной машине скорости 1600 оборотов в минуту; следовательно, полученные результаты были гораздо менее благоприятными, чем они были бы при нормальной скорости в 2000 оборотов, достигнутой раньше. Всего на несколько мгновений во время измерений смогли добиться скорости 2000 оборотов в минуту, и снова одна из щеток машины оторвалась, что произвело экстремальный ток и полностью разрушило машину» [45].

В литературе существуют некоторые разнотечения результатов эксперимента М. Депре. Это объясняется постоянными авариями при проведении измерений, большими вибрациями плохо установленного двигателя в Мюнхене и несовершенством «динамометра Хеффнер–Альтенека, работающего в Мисбахе, рассчитанного для измерения силы в 15 лошадиных сил, пределы погрешности которого были слишком велики для измерения небольшой силы» [45].

Приведем официальные данные, опубликованные в февральском номере *«La Lumière Électrique»* за 1883 г.:

длина электропередачи – 57 км;
толщина железного провода электропередачи – 4,5 мм;
сопротивление генератора в Мисбахе – 453,4 Ом;
сопротивление двигателя в Мюнхене – 453,4 Ом.
сопротивление линии – 1900 Ом;
частота вращения генератора в Мисбахе – 1611 об/мин;
частота вращения двигателя в Мюнхене – 752 об/мин;
напряжение на клеммах генератора – 1343 В;
напряжение на клеммах двигателя – 850 В;
сила тока в линии при указанной скорости – 0,519 А;

По результатам измерений были рассчитаны следующие величины:

мощность в Мисбахе – 1,13 л. с.;
мощность в Мюнхене – 0,433 л. с.

Таким образом, КПД линии электропередачи составил 38,9 %. Учитывая, что КПД генератора и двигателя примерно были по 85 %, можно было заключить, что общий КПД всей установки составлял примерно 28 %» [45].

Этот результат был неоднозначно оценен мировым электротехническим сообществом. многими учеными Мисбах–Мюнхенская электропередача рассматривалась как «явно неудачная». Выдающийся электромеханик Энгельберт Арнольд так отозвался об эксперименте Депре и Миллера: «Эта передача впервые решила задачу переноса энергии механической работы через проводник на значительное расстояние почти в 60 км по телеграфному проводу. Хотя КПД составил всего около 35 %, а сбои в работе начались уже вскоре после начала передачи, ее все же следует рассматривать как

важный момент в развитии переноса электрической энергии... Однако эти эксперименты были сопряжены со столь высокими затратами, а в работе возникали столь многочисленные сбои, что с практической точки зрения их следовало считать прямо-таки обескураживающими» [46].

Французский журнал *«La Lumière Electrique»*, напротив, восторженно писал о грандиозном успехе этого эксперимента: «Комиссии экспертов было продемонстрировано наиболее важное из всего того, что было на выставке, а именно – опыт передачи мощности на большое расстояние при помощи машин, осуществленный М. Депре. ... Этот замечательный результат уже сам по себе был достаточен, чтобы придать огромный интерес Мюнхенской выставке; ничего подобного Париж не мог дать своим посетителям в предшествовавшем году. Члены комиссии признали, что в области электричества не было получено столь же важного результата с момента изобретения телефона. Один из членов комиссии считал, что успех этот может произвести революционизирующее действие. ... Итак, Мюнхенской выставке принадлежит честь показа замечательных опытов Депре и, следовательно, блестящих результатов окончательного решения вопроса об электрической передаче мощности на большое расстояние. В этом опыте есть нечто величественное, и хотя мы уже привыкли к сюрпризам электричества, мы все же были настоящим образом взволнованы. Предполагаемая Марслем Депре теория передачи энергии так ясно и так хорошо согласуется с элементарными представлениями об электричестве, что против нее нельзя ничего возразить. Но теория должна считаться с практикой, не всегда оправдывающей смелые идеи, а в смелости идей Депре нельзя отказать. Опыты эти, безусловно, самые чудесные из всего того, что приходилось видеть, и не надо обладать чересчур большим воображением, чтобы понять все сразу осуществляемые возможности применения, которые отсюда вытекают» [47].

Журнал *«Электричество»* писал: «Great attraction Мюнхенской выставки составлял опыт передачи работы, осуществленный г. Марслем Депре, который с помощью двух машин Грамма типа А с обмоткой его системы, достиг возможности передавать в здание выставки силу от Мисбаха до Мюнхена на расстоянии 60 километров и по простой четырехмиллиметровой телеграфной проволоке, поддерживаемой деревянными столбами без всякой специальной изолировки. ... Полученные результаты показывают, что распределение работы может совершаться на всякое расстояние при совершенно практических условиях, не требуя никакой специальной изолировки проводников» [48].

Опыты М. Депре в Мюнхене вызвали в мировой прессе очень живой отклик. На ближайшие полгода это было, пожалуй, самой обсуждаемой новостью в электротехнических кругах. Несмотря на скептицизм многих видных ученых и инженеров, на их желание под-

вернуть сомнению полученные результаты большое количество электротехников зажглось идеей дальних передач. Более того, капитал заметил открывающиеся перед ним возможности. А они были огромны. В случае успешного решения проблемы дальних электропередач можно было разнести на десятки километров друг от друга предприятия, генерирующие и потребляющие электроэнергию. Энергия рек, водопадов уже не была жестко привязана к месту выработки. Отпадала также необходимость в транспортных расходах по доставке угля для паровых машин [36].

Основоположник социалистической теории, Фридрих Энгельс с большим вниманием и уважением отнесся к эксперименту М. Депре, считал результаты Мисбах-Мюнхенской электропередачи «колossalной революцией». Ф. Энгельс писал: «Новейшее открытие Депре, состоящее в том, что электрический ток очень высокого напряжения при сравнительно малой потере энергии можно передавать по простому телеграфному проводу на такие расстояния, о каких до сих пор и мечтать не смели, и использовать в конечном пункте, – дело это еще только в зародыше, – это открытие окончательно освобождает промышленность почти от всяких границ, полагаемых местными условиями, делает возможным использование также и самой отдаленной водяной энергии, и если вначале оно будет полезно только для городов, то в конце концов оно станет самым мощным рычагом для устранения противоположности между городом и деревней» [49].

Мисбах-Мюнхенский эксперимент явился импульсом к проведению подобных исследований во всем мире, главной целью которых было получение экономически эффективных электропередач на значительные расстояния. В последующие годы строятся десятки линий под руководством таких известных электротехников, как М. Депре, М. Фонтен, Чарльз Юджин Ланселот Браун (*Charles Eugene Lancelot Brown*), Рене Тюри (*René Thury*) и многих других. Это время получило название «гонка электропередач», что показало востребованность этой задачи для промышленности.

В 1873 г. на Венской выставке И. Фонтен, чья фамилия с французского переводится как «фонтан» (*la fontaine*), осуществил свою знаменитую электропередачу, которая заканчивалась фонтаном. И этот эффектный прием еще не раз повторится в истории, знаменуя преемственность в развитии электротехники. Марсель Депре и Оскар фон Миллер, запустили в Мюнхене в 1882 г. второй «фонтан электропередачи». Третий забьёт в Гренобле в 1883 г. Тогда КПД передающей системы на 14 км составит 62 %, что безоговорочно доказывает на практике целесообразность длинных линий электропередачи. Четвертый обильным потоком прольется во Франкфурте-на-Майне на Международной электротехнической выставке 1891 г., чем ознаменует рождение трехфазного тока. Последний фонтан будет работать от насоса, врачающего асинхронным трехфаз-

ным двигателем, созданным русским электротехником Михаилом Осиповичем Доливо-Добровольским. Руководителем Франкфуртской выставки станет Оскар фон Миллер [50].

Еще один интересный факт. В списке испытательной комиссии Мисбах-Мюнхенской электропередачи мы можем найти имя профессора Эразмуса Киттлера (*Erasmus Kittler*). В небольшой заметке в журнале «Электричество» за ноябрь 1882 г. можно прочесть: «Новая кафедра по Электротехнике открыта при высшей школе в Дармштадте, причем профессором назначен Др. Эразмус Киттлер» [51]. В 1883 г. молодой студент М.О. Доливо-Добровольский станет учеником профессора Киттлера. А в 1891 г. Эразмуса Киттлера назначат руководителем проверочной комиссии по трехфазной Лауфен-Франкфуртской электропередаче.

Несмотря на большую разницу между выставками 1882 и 1891 г., мы должны отметить для себя их большое сходство. Главными событиями выставок стали успешные электропередачи на большое расстояние. В первом случае произошло форсирование решения вопроса по возможности транспортировки электроэнергии. Во втором – прорыв в технологиях переменного тока. Идейным вдохновителем и организатором этих мероприятий явился выдающийся инженер Оскар фон Миллер, отвага и деятельное участие которого позволили добиться успеха.

Официальная церемония закрытия выставки состоялась в большом зале «Хрустального дворца» (рис. 10). Председатель правления Мюнхенской выставки произнес заключительную речь, в которой подытожил, что главная задача прошедшего мероприятия – популяризация электричества – выполнена в полной мере. Затем бургомистр Мюнхена Алоис фон Эрхардт (*Alois von Erhardt*) пригласил всех участников выставки в одну из пивных города на «демократический ужин». Банquet проходил в большом прямоугольном помещении, стены которого были украшены гирляндами и флагами всех федеральных земель Германии.

С дубового потолка свисали большие круглые плафоны дуговых электрических светильников конструкции Иоганна Зигмунда Шукерта (*Johann Sigmund Schuckert*). Но даже их яркий свет не мог перебить красные отблески пламени громадного очага, на котором не переставала жариться всевозможная снедь. В глубине зала военный духовой оркестр играл музыку Рихарда Вагнера (*Richard Wagner*), Карла фон Перфалья (*Karl von Perfall*), Иоганна Штрауса (*Johann Strauss*) и Филиппа Фарбаха (*Philipp Fahrbach*). Пять длинных дубовых столов были установлены всевозможными закусками и большими бокалами со знаменитым мюнхенским темным пивом. Очевидец этого пиршества Поль Клемансо (*Paul Clémenceau*) писал: «Вокруг столов в полном беспорядке расселись все гости от министров до простых рабочих, смазывающих машины. Все толкали друг друга локтями, и наблюдать за этим было



Рис. 10. Торжественный банкет по случаю закрытия Мюнхенской электрической выставки 1882 г.

Fig. 10. Solemn banquet on the occasion of the closing of the Munich Electric Exhibition in 1882

весьма странно, учитывая, что в Германии в то время аристократия являлась весьма закрытым сословием. Везде царила братская, веселая атмосфера. Затем начались речи. Чиновники, ученые, инженеры последовательно брали слово, и их выступления прерывались только аплодисментами. Каждый вспоминал усилия, затраченные в этот период и блестящие результаты, которые были достигнуты благодаря общей деятельности, благодаря работе всех, стремящихся к одной цели. Все поздравляли друг друга, закаленные руки рабочих встретились с руками ученых, и в этом замечательном братстве исчезли все различия происхождения и образования» [52].

Выводы. Мюнхенская электрическая выставка 1882 г. явилась ярким событием в истории электротехники. Основным организатором мероприятия стал молодой немецкий инженер Оскар фон Миллер. Авторитетная независимая комиссия ученых и инженеров провела серьезные исследования всех представленных экспонатов, опубликовав в печати их подробные технические показатели. Это дало возможность исключить недостоверные данные производителей, желающих в рекламных целях завысить ценность своей продукции [53].

Научная и гражданская смелость французских электротехников Марселя Депре, Корнелиуса Герца и немецкого инженера Оскара фон Миллера позволила осуществить во время Мюнхенской электрической выставки 1882 г. грандиозную по тому времени электропрерадачу на 57 км от Мисбаха до Мюнхена. Эксперимент

положил начало целой серии подобных исследований во всем мире, что значительно ускорило создание технологий транспортировки электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышев А.А. История передачи электрической энергии. Архив истории науки и техники. Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1934, сер.1, вып 4, с. 269–298.
2. Веников В.А., Шнейберг Я.А. От истоков электропередачи к прогнозам на будущее (К 100-летию электропередачи М. Депре Мисбах-Мюнхен. – Электричество, 1983, № 11, с. 1–7.
3. Martin T.C., Wetzler J. The Electric Motor and Its Applications. New York: The W.J. Johnston, Publisher, 1887, 208 p.
4. Капп Г. Электрическая передача энергии. Лекции Гисberta Каппа. Лекция первая. – Электричество, 1891, № 18, с. 246–249.
5. Капп Г. Электрическая передача энергии. Лекция III. – Электричество, 1891, № 22, с. 307–312.
6. Fontaine H. Transmissions Électriques, Paris: Librairie Polytechnique, 1885, 80 p.
7. Fontaine H. Éclairage à l'électricité. Paris: Librairie Polytechnique, 1879, 304 p.
8. Niaudet A. Máquinas Magneto-Eléctricas de M. Gramme. Barcelona: Francisco Dalmau e hijo, 1875, 48 p.
9. Белькинд Л.Д. Павел Николаевич Яблочкин (1847–1894). М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962, 270 с.
10. Allerhand A. The First Eight Years of Electric Power Transmission and Distribution – 1873–1880. – Proceeding of the IEEE, 2021, vol. 109, iss. 1, pp. 96–108, DOI: 10.1109/JPROC.2020.3036714.
11. La Lumière Éclairage à Londres. – La Nature, 1879, No. 294, 18 janvier, p. 97.
12. Русский инвалид, 1880, 16 сентября, № 204.
13. Niaudet-Breguet A. Machines Magnéto-Électriques Gramme. – La Nature, 1875, No. 87, 30 janvier, pp. 138–141.
14. Mascart M. Des Machines Magnéto-Électriques et Electrody namiques. – Journal de Physique Theoretique Etappliquée Public, 1878, No. 6, pp. 203–212.

15. **Осадчий Н.П.** Исторический очерк развития передачи электрической энергии на расстояние. – М.-Л.: Энергия, 1964, 96 с.
16. **Лачинов Д.А.** Электромеханическая работа. – Электричество, 1880, № 1, с. 9–10.
17. **Thompson S.P.** Dynamo-Electric Machinery. London: E.& F.N. Spon, 1886, 527 p.
18. **Алексеев Н.М.** Передача работы на расстояние электричеством. – Техник, 1882, № 5, с 1–3.
19. **Ефремов Д.В.** Электродвигатель в его историческом развитии: Документы и материалы. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1936, 660 с.
20. **Ржонсницкий Б.Н.** Дмитрий Александрович Лачинов. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1949, 107 с.
21. **Figuier L.** Les Nouvelles Conquêtes de la Science. L'Électricité. Paris: Librairie Illustrée, 1884, 644 p.
22. **Deprez M.** Nouveau Galvanomètre Astatique de MM. Deprez et d'Arsonval. – La Lumière Électrique, 1881, 7 septembre, No. 46, pp. 309–310.
23. **Hospitalier E.** Le Moteur Électrique de M. Marcel Deprez. – La Nature, 1879, 1 novembre, No. 335, pp. 341–342.
24. **Deprez M.** Sur le Synchronisme Électrique de Deux Mouvements Quelconques. – La Lumière Électrique, 1880, 15 juin, No. 12, pp. 238–239.
25. **Deprez M.** Sur le Rendement Économique des Moteurs Électriques sur la Mesure de la Quantité d'Énergie qui Traverse un Circuit Électrique. – Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 1880, tome XC, January-June, pp. 590–593.
26. **Deprez M.** La Transmission Électrique du Travail à Grande Distance. – La Lumière Électrique, 1881, 10 août, No. 38, pp. 179–180.
27. **Deprez M.** La Transmission Électrique du Travail à Grande Distance (2e article). – La Lumière Électrique, 1881, 24 août, No. 42, pp. 246–248.
28. **Депре М.** Электрическая передача работы на большое расстояние. – Электричество, 1881, № 15, с. 234–235.
29. **Фонтен И.** Новые машины Грамма. – Электричество, 1881, № 13–14, с. 212–214.
30. **Gerald F.** Le Transport Électrique de la Force, Travaux de M. Marcel Deprez. – La Lumière Électrique, 1884, 5 janvier, No. 1, pp. 46–70.
31. **Ефремов Д.В.** Динамомашина в ее историческом развитии: Документы и материалы. Л.: Издательство Академии наук СССР, 1934, 560 с.
32. **Лачинов Д.А.** Пятое общее заседание Конгресса (под председательством Министра почт и телеграфов). – Электричество, 1881, № 21, с. 316–317.
33. **Frölich O.** Versuche mit dynamoelektrischen Maschinen und elektrischer Kraftübertragung und theoretische Folgerungen aus denselben. – Elektrotechnische Zeitschrift, 1881, april, pp. 134–141.
34. **Frölich O.** Versuche des Etablissements von Siemens & Halske über dynamoelektrische Maschinen und elektrische Kraftübertragung und theoretische Folgerungen aus denselben. – Elektrotechnische Zeitschrift, 1881, mai, pp. 170–175.
35. **Лапиров-Скобло М.Я.** Эдисон. М: Молодая гвардия, 1960, 255 с.
36. **Fübi W.** Oskar von Miller: 1855–1934: Eine Biographie. München: Beck, 2005, 452 p.
37. **Прис Г.** Мюнхенская электрическая выставка (Сокращенное изложение мемуара Приса). – Электричество, 1882, № 22, с. 314–316.
38. **Электротехническая** выставка в Мюнхене. – Электричество, 1882, № 10–11, с. 162.
39. **Herz C.** Une Exposition d'Électricité à Munich. – La Lumière Électrique, 9 septembre, No. 36, pp. 241–249.
40. **Аникин А.В.** История финансовых потрясений. Российский кризис в свете мирового опыта. М.: Олимп-Бизнес, 2009, 448 с.
41. **Электрические** опыты в Мюнхене. – Электричество, 1882, № 15, с. 223.
42. **Gerald F.** Exposition Internationale d'Electricité de Munich: A Propos de l'Expérience du Transport de la Force. – La Lumière Électrique, 1882, 28 octobre, No. 43, pp. 424–425.
43. **Moncel Th.** Exposition Internationale de Munich: Transport de la Force par Une Ligne Télégraphique de 60 Kilomètres de Longueur, Entre Miesbach et Munich. – La Lumière Électrique, 1882, 7 octobre, No. 40, pp. 337–339.
44. **Miller O.** Erinnerungen an die Internationale Elektrizitäts-Ausstellung im Glaspalast zu München im Jahre 1882, – Abhandlungen und Berichte des Deutschen Museums, 1932, т. 4, № 6, pp. 153–181.
45. **Moncel Th.** Transport de la Force par Une Ligne Télégraphique de 60 Kilomètres de Longueur Entre Miesbach et Munich. – La Lumière Électrique, 1883, No. 5, 3 février, p.129–132.
46. **Arnold E.** Die Entwicklung der Elektrotechnik in Deutschland: Festrede 18 e idem feierlichen Akte der Einweihung des Elektrotechnischen Instituts der Grossherzoglichen Technischen Hochschule zu Karlsruhe am 18. Mai 1899 gehalten von Professor E. Arnold, Direktor des Instituts, Karlsruhe. Karlsruhe: Verlag von Wilhelm Jahraus, 1899, 19 p.
47. **L'Exposition de Munich: Lettres de MM. P. Clémenceau et B. Abdank-Abakanowicz.** – La Lumière Électrique, 1882, 7 octobre, No. 40, pp. 357–359.
48. **Передача** работы по телеграфной проволоке в 60 километров длины, между Мюнхеном и Мисбахом. – Электричество, 1882, № 18–19, с. 268–269.
49. **Марке К., Энгельс Ф.** Сочинения. Том 35. М.: Изд-во политической литературы, 1963, 526 с.
50. **Бородин Д.А., Бородин В.Д.** Чарльз Браун. У истоков электроэнергетики. М.: ЦИТ, 2013, 152 с.
51. **Новая** кафедра по Электротехнике. – Электричество, 1882, № 22, с. 322.
52. **Clémenceau P.** Exposition Internationale d'Électricité de Munich: En dehors du Palais de Cristal. – La Lumière Électrique, 1883, 24 novembre, No. 47, pp. 392–398.
53. **Бородин Д.А.** Мюнхенская выставка Оскара фон Миллера. Ч. 1. От наград к сертификатам (к 140-летию Мисбах-Мюнхенской электропередачи М. Депре). – Электричество, 2022, № 12, с. 67–78.

*Поступила в редакцию [13.10.2022]
Принята к публикации [17.11.2022]*

Автор:



Бородин Дмитрий Анатольевич – кандидат техн. наук, ведущий инженер-конструктор ООО «Инжениринговый центр «Русэлпром», Москва, Россия.

Munich Exhibition of Oscar von Miller. Part 2. A Remarkable Result (On the 140th Anniversary of the Misbach-Munich Power Transmission of M. Depre)

BORODIN Dmitriy A. (LLC «Engineering Center «Ruselprom», Moscow, Russia) – Leading Design Engineer; Cand. Sci. (Eng.).

The article is devoted to the history of the first power transmissions over a long distance. In 1873, the French engineer H. Fontaine transferred electrical energy between a dynamo and a DC motor over a kilometer distance. The efficiency of this power transmission was rather poor, but the experiment became widely known and interested many scientists. However, a low level to which the electrical engineering had been developed by that time, lack of electricity consumers, high cost, and poor reliability of electrical equipment did not allow the problems of power transmission efficiency to be solved within a short period of time. After the advent in 1876 of P.N. Yablochkov's lighting system and the electrical market, the issue of constructing power transmission lines was becoming increasingly more urgent. Theoretical studies of a number of electrical engineers: D.A. Lachinov, O. Froelich, M. Deprez, and others showed ways to increase the power transmission efficiency, the value of which could be higher than 50%. These works faced incomprehension from many eminent electrical engineers of that time. Practical proof was required. The article describes the central event of the Munich Exhibition in 1882 - the transmission of electrical energy over a distance of 57 km from Miesbach to Munich, implemented by Marcel Despres and Oscar von Miller. In fact, this was the first experience of creating a high-voltage DC power line in history. A bold power transmission experiment over such a considerable distance was of great importance for the development of electric power industry and served as impetus for accelerating work in this field.

K e y w o r d s: International electrical exhibition in Munich in 1882, Hippolyte Fontaine, Dmitry Alexandrovich Lachinov, Marcel Desprez, Oscar von Miller, Cornelius Herz, electric power transmissions, Miesbach-Munich power transmission

REFERENCES

1. Chernyshev A.A. *Istoriya peredachi elektricheskoy energii. Arhiv istorii nauki i tekhniki* (History of Electric Power Transmission. Archive of the History of Science and Technology). L.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1934, ser.1, iss. 4, pp. 269–298.
2. Venikov V.A., Shneyberg Ya.A. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 1983, No. 11, pp. 1–7.
3. Martin T.C., Wetzler J. The Electric Motor and Its Applications. New York: The W.J. Johnston, Publisher, 1887, 208 p.
4. Kapp G. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 1891, No. 18, pp. 246–249.
5. Kapp G. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 1891, No. 22, pp. 307–312.
6. Fontaine H. *Transmissions Électriques*, Paris: Librairie Polytechnique, 1885, 80 p.
7. Fontaine H. *Éclairage à l'électricité*. Paris: Librairie Polytechnique, 1879, 304 p.
8. Niaudet A. *Máquinas Magneto-Eléctricas de M. Gramme*. Barcelona: Francisco Dalmau e hijo, 1875, 48 p.
9. Bel'kind L.D. *Pavel Nikolaevich Yablochkov* (Pavel Nikolaevich Yablochkov) (1847–1894). M.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1962, 270 p.
10. Allerhand A. The First Eight Years of Electric Power Transmission and Distribution – 1873–1880. – Proceeding of the IEEE, 2021, vol. 109, iss. 1, pp. 96–108, DOI: 10.1109/JPROC.2020.3036714.
11. La Lumière Éclairage à Londres. – *La Nature*, 1879, No. 294, 18 janvier, p. 97.
12. *Russkiy invalid – in Russ. (Russian Invalid)*, 1880, 16 september, No. 204.
13. Niaudet-Breguet A. *Machines Magnéto-Électriques Gramme*. – *La Nature*, 1875, No. 87, 30 janvier, pp. 138–141.
14. Mascart M. *Des Machines Magnéto-Électriques et Electro-dynamiques. – Journal de Physique Theoretique Etappliquée Public*, 1878, No. 6, pp. 203–212.
15. Osadchiy N.P. *Istoricheskiy ocherk razvitiya peredachi elektricheskoy energii na rasstoyanie* (Historical Sketch of the Development of Electric Power Transmission over a Distance). M.-L.: Energiya, 1964, 96 p.
16. Lachinov D.A. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 1880, No. 1, pp. 9–10.
17. Thompson S.P. *Dynamo-Electric Machinery*. London: E. & F.N. Spon, 1886, 527 p.
18. Alekseev N.M. *Tekhnika – in Russ. (Technician)*, 1882, No. 5, pp 1–3.
19. Efremov D.V. *Elektrosvigatel' v ego istoricheskem razvitiye: Dokumenty i materialy* (The Electric Motor in Its Historical Development: Documents and materials). M.-L.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1936, 660 c.
20. Rzhonsnitskiy B.N. *Dmitriy Aleksandrovich Lachinov* (Dmitry Alexandrovich Lachinov). M.-L.: Gosenergoizdat, 1949, 107 p.
21. Figuer L. *Les Nouvelles Conquêtes de la Science. L'Électricité*. Paris: Librairie Illustrée, 1884, 644 p.
22. Deprez M. *Nouveau Galvanomètre Astatique de MM. Deprez et d'Arsonval. – La Lumière Électrique*, 1881, 7 septembre, No. 46, pp. 309–310.

23. **Hospitalier E.** Le Moteur Électrique de M. Marcel Deprez. – La Nature, 1879, 1 novembre, No. 335, pp. 341–342.
24. **Deprez M.** Sur le Synchronisme Électrique de Deux Mouvements Quelconques. – La Lumière Électrique, 1880, 15 juin, No. 12, pp. 238–239.
25. **Deprez M.** Sur le Rendement Économique des Moteurs Électriques sur la Mesure de la Quantité d'Énergie qui Traverse un Circuit Électrique. – Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 1880, tome XC, January-June, pp. 590–593.
26. **Deprez M.** La Transmission Électrique du Travail à Grande Distance. – La Lumière Électrique, 1881, 10 août, No. 38, pp. 179–180.
27. **Deprez M.** La Transmission Électrique du Travail à Grande Distance (2-e article). – La Lumière Électrique, 1881, 24 août, No. 42, pp. 246–248.
28. **Deprez M.** Elektrichestvo – in Russ. (Electricity), 1881, No. 15, pp. 234–235.
29. **Fonten I.** Elektrichestvo – in Russ. (Electricity), 1881, No. 13–14, pp. 212–214.
30. **Geraldy F.** Le Transport Électrique de la Force, Travaux de M. Marcel Deprez. – La Lumière Électrique, 1884, 5 janvier, No. 1, pp. 46–70.
31. **Efremov D.V.** Dinamomashina v ee istoricheskem razvitiu: Dokumenty i materialy (Dynamo in its Historical Development: Documents and Materials). L.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1934, 560 c.
32. **Lachinov D.A.** Elektrichestvo – in Russ. (Electricity), 1881, No. 21, pp. 316–317.
33. **Frölich O.** Versuche mit dynamoelektrischen Maschinen und elektrischer Kraftübertragung und theoretische Folgerungen aus denselben. – Elektrotechnische Zeitschrift, 1881, april, pp. 134–141.
34. **Frölich O.** Versuche des Etablissements von Siemens & Halske über dynamoelektrische Maschinen und elektrische Kraftübertragung und theoretische Folgerungen aus denselben. – Elektrotechnische Zeitschrift, 1881, mai, pp. 170–175.
35. **Lapiroff-Skoblo M.Ya.** Edison (Edison). M: Molodaya gvardiya, 1960, 255 p.
36. **Fübl W.** Oskar von Miller: 1855–1934: Eine Biographie. München: Beck, 2005, 452 p.
37. **Pris G.** Elektrichestvo – in Russ. (Electricity), 1882, No. 22, pp. 314–316.
38. **Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)**, 1882, No. 10–11, p. 162.
39. **Herz C.** Une Exposition d'Électricité à Munich. – La Lumière Électrique, 9 septembre, No. 36, pp. 241–249.
40. **Anikin A.V.** Istorija finansovyh potryasenij. Rossijskiy krizis v svete mirovogo opyta (A History of Financial Turmoil. The Russian Crisis in the Light of World Experience). M.: Olimp-Biznes, 2009, 448 p.
41. **Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)**, 1882, No. 15, p. 223.
42. **Geraldy F.** Exposition Internationale d'Électricité de Munich: A Propos de l'Expérience du Transport de la Force. – La Lumière Électrique, 1882, 28 octobre, No. 43, pp. 424–425.
43. **Moncel Th.** Exposition Internationale de Munich: Transport de la Force par Une Ligne Télégraphique de 60 Kilomètres de Longueur, Entre Miesbach et Munich. – La Lumière Électrique, 1882, 7 octobre, No. 40, pp. 337–339.
44. **Miller O.** Erinnerungen an die Internationale Elektrizitäts-Ausstellung im Glaspalast zu München im Jahre 1882, – Abhandlungen und Berichte des Deutschen Museums, 1932, т. 4, №. 6, pp. 153–181.
45. **Moncel Th.** Transport de la Force par Une Ligne Télégraphique de 60 Kilomètres de Longueur Entre Miesbach et Munich. – La Lumière Électrique, 1883, No. 5, 3 février, p. 129–132.
46. **Arnold E.** Die Entwicklung der Elektrotechnik in Deutschland: Festrede 18 e idem feierlichen Akte der Einweihung des Elektrotechnischen Instituts der Grossherzoglichen Technischen Hochschule zu Karlsruhe am 18. Mai 1899 gehalten von Professor E. Arnold, Direktor des Instituts, Karlsruhe. Karlsruhe: Verlag von Wilhelm Jahraus, 1899, 19 p.
47. **L'Exposition de Munich: Lettres de MM. P. Clémenceau et B. Abdark-Abakanowicz.** – La Lumière Électrique, 1882, 7 octobre, No. 40, pp. 357–359.
48. **Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)**, 1882, No. 18–19, pp. 268–269.
49. **Marks K., Engel's F.** Sochineniya (Essays). Vol 35. M.: Izd-vo politicheskoy literatury, 1963, 526 p.
50. **Borodin D.A., Borodin V.D.** Charl'z Braun. U istokov elektroenergetiki (Charles Brown. At the origins of the electric power industry). M.: TsIT, 2013, 152 p.
51. **Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)**, 1882, No. 22, p. 322.
52. **Clémenceau P.** Exposition Internationale d'Électricité de Munich: En Dehors du Palais de Cristal. – La Lumière Électrique, 1883, 24 novembre, No. 47, pp. 392–398.
53. **Borodin D.A.** Elektrichestvo – in Russ. (Electricity), 2022, No. 12, pp. 67–78.

Received [13.10.2022]

Accepted [17.11.2022]