

Опыты Марселя Депре по передаче электрической энергии. Ч. 1. Северная железная дорога (к 180-летию со дня рождения М. Депре)

БОРОДИН Д.А.

ИЦ «Русэлпром», Москва, Россия

Настоящая публикация, состоящая из трех частей, посвящена первым высоковольтным силовым передачам постоянного тока, проведенным французским ученым Марселем Депре. Результаты Мисбах-Мюнхенского эксперимента 1882 г., несмотря на их скромный результат (расстояние – 57 км, переданная мощность – 0,4 л.с., КПД – 28 %, напряжение – около 1400 В) были оспорены рядом видных ученых, упрекающих М. Депре в неточностях измерений и даже в подтасовках полученных данных. Для подтверждения своей теории Депре решил провести серию новых экспериментов. В первой части статьи описывается электропередача, которая была осуществлена в начале 1883 г. на Северной железной дороге рядом с Парижем. Для нового опыта были сконструированы специальные высоковольтные генератор и двигатель постоянного тока и построена высоковольтная трасса длиной 8,5 км. В экспериментах участвовали выдающиеся физики Анри Эдуард Треска, Джон Гопкинсон и специальная комиссия Французской академии наук. В результате нескольких экспериментов удалось достичь КПД электропередачи 48 %, при переданной мощности 3,5 л.с. Несмотря на обнадеживающие цифры, бурные споры о результатах экспериментов не утихали.

Ключевые слова: электропередача постоянным током, электропередача Северной железной дороги, Марсель Депре, Корнелиус Герц, Теодос дю Монсель, Анри Эдуард Треска

Науку и технику надо изображать не как склад готовых открытий и изобретений, а как арену борьбы, где конкретный живой человек преодолевает сопротивление материала и традиции.

М. Горький [1]

Осенью 1882 г. французский ученый Марсель Депре (*Marsel Deprez*) совместно с немецким инженером Оскаром фон Миллером (*Oskar von Miller*) провели масштабную для того времени передачу электрической энергии на расстояние в 57 км из Мисбаха в Мюнхен. КПД всей установки, включающей динамо-машину, линию электропередачи и двигатель постоянного тока, был примерно 28 %. Переданная мощность составила чуть больше 0,4 л.с. [2]. Электропередача осуществлялась при напряжении около 1400 В. Для этого электрические машины имели высоковольтную изоляцию,

выполненную из шелка. Эксперимент подтверждал теоретические выводы русского электротехника Дмитрия Александровича Лачинова и Марселя Депре о том, что эффективность дальней электропередачи, зависящая от джоулевых потерь, пропорциональна величине напряжения в сети. Электропередача, осуществленная в 1882 г. в Мюнхене, была крайне ненадежной. Аварии электрических машин из-за повышенного напряжения практически сорвали проведение тщательных измерений. В мировой электротехнической прессе развернулась оживленная полемика¹.

М. Депре упрекали в недостаточной организованности эксперимента. Генератор и приемник были разнесены на большое расстояние друг от друга, и часто во время опытов связь между этими объектами была неустойчива. Соответственно и показания приборов в крайних точках электропередачи тоже могли отличаться. Противники Депре доказывали, что реальный КПД

¹ Более подробно читатель может ознакомиться с этими событиями на страницах январского номера журнала «Электричество» за 2023 г. [3].

электропередачи был гораздо меньше приводимой Марселем Депре цифры. Так, по оценке французского инженера-электрика Гюстава Кабанелласа (*Gustave Eugène Cabanellas*) эффективность передачи электроэнергии была всего 18 % [4]. Английский физик и изобретатель Оливер Джозеф Лодж (*Sir Oliver Joseph Lodge*) также весьма скептически отнесся к работам М. Депре. В 1883 г. в ряде электротехнических изданий, в том числе и в российском журнале «Электричество», была опубликована серия статей профессора О. Лоджа «Теория передачи силы с помощью электричества». В своей работе английский ученый обращал внимание на плохую изоляцию проводной линии из Мисбаха в Мюнхен и с помощью своих математических построений пытался обосновать, что результаты эксперимента М. Депре некорректны [5].

На защиту идей Марселя Депре встал научный французский журнал «*La Lumière Électrique*», позиционирующий себя как «Универсальный Журнал Электричества». Во всех трех частях настоящей статьи будут широко использованы публикации из этого издания и продемонстрированы рисунки, напечатанные на его страницах. Поэтому считаем необходимым сказать несколько слов о самом журнале, ставшем явлением в истории электротехники. Журнал стоил всего 1–2 франка, что было просто смехотворной ценой, поскольку зарплата среднего инженера составляла 400 франков. Издание «*La Lumière Électrique*» печаталось на превосходной бумаге, сохранившей свое качество до сего дня, было богато иллюстрировано, имело в своем штате первоклассных художников и граверов, что обходилось весьма дорого. Известно, что стоимость одной гравюры составляла в ценах 1880-х гг. 600 и более франков (150 руб.). Для сравнения, годовые расходы журнала «Электричество» тех лет в пересчете на французскую валюту равнялись 30000 франков (7500 руб.) [6, 7]. Было очевидно, что издание щедро финансируется крупным капиталом. Но главное, журнал являлся площадкой для выступлений ведущих ученых, инженеров и технических журналистов того времени. Первый номер журнала, вышедший в апреле 1879 г., начинался с программной статьи, в которой декларировались его основные цели: «Мы намерены объединить индивидуальные усилия людей доброй воли и идти вместе с ними к более точному пониманию электротехники. Мы верим, что коллективная организация сможет успешно осуществить то, что не удалось сделать одиночкам. Мы отказываемся следовать за некоторыми недовольными умами, которые эксплуатируют неопределенность и ловят рыбу в мутной воде. Мы предпочитаем связывать не совсем понятное положение вещей в электричестве с несовершенством методов и средств контроля, пестротой и недостаточной слаженностью различных подразделений и их некомпетентностью и, наконец, длительным равнодушием общественности. Мы будем добросовестно изучать идеи, системы, про-

цессы и сообщим об этом беспристрастно. Прежде всего, редакция будет стремиться сохранять абсолютную независимость и объективность, что она считает первым элементом прочного успеха» [8]. В журнале «*La Lumière Électrique*» в поддержку М. Депре были опубликованы десятки статей ведущих электротехников Франции: Теодоса дю Монселя (*Théodose du Moncel*), Анри Эдуарда Треска (*Henri Édouard Tresca*), Корнелиуса Герца (*Cornelius Herz*), Франка Жеральди (*Frank Gerdard*) и др. Во всех этих работах четко прослеживается стремление честно разобраться во всех тонкостях нового направления – силовой электропередачи.

Выдающийся французский физик и электротехник Теодос дю Монсель охарактеризовал нападки на Марселя Депре такими словами: «Чтобы приуменьшить полученные им (М. Депре – прим авт.) результаты, его формулы оспаривались, его оценки эффективности



Рис. 1. Теодос дю Монсель

Fig. 1. Théodose du Moncel



Рис. 2. Анри Эдуард Треска

Fig. 2. Henri Édouard Tresca

электропередач отрицались и повсеместно делались попытки обесценить его теорию и практику, все свести к цифре, меньшей, чем результаты его экспериментов в Мюнхене. Утверждали, что, разместив генератор и двигатель на столь большом расстоянии друг от друга, Депре не смог точно синхронизировать снятие показаний приборов, что сказалось на корректности измерений» [9].

Серьезным аргументом в пользу правдивости Мюнхенского эксперимента явился официальный отчет Испытательной комиссии по электротехническим экспериментам в Мюнхене, напечатанный в журнале «*La Lumière Électrique*» 3 февраля 1883 г. Этот документ был подписан независимыми экспертами: крупным немецким физиком Вильгельмом фон Беетцом (*Wilhelm von Beetz*) и организатором Мюнхенской электротехнической выставки немецким инженером Оскаром фон Миллером (*Oskar von Miller*) [2].

Редактор журнала «*La Lumière Électrique*», известный электротехник и предприниматель доктор Корнелиус Герц спустя неделю после публикации вышеназванного отчета написал: «Многочисленные споры, вызванные экспериментом, проведенным г-ном Марселем Депре четыре месяца назад в Мюнхене, были приостановлены протоколом Электротехнического комитета, опубликованным на страницах журнала «*La Lumière Électrique*». Этот уже исторический документ ослабил бурный поток нападок, которым была подвергнута Мисбах-Мюнхенская электропередача. Противники г-на Депре создавали свои желчные теории, подкрепляя их своими причудливыми цифрами исключительно для того, чтобы продемонстрировать, что его эксперимент не имел иного результата, кроме доказательства невозможности экономичной транспортировки сил на большие расстояния. Интересно то, что нападки прежде всего исходили от французских ученых, ослепленных подлым духом национальной предвзятости» [10].

Для того чтобы «прекратить нарекания и устранить всякие недоразумения», Депре принял решение повторить свои эксперименты уже во Франции (в Париже) [11]. Марсель Депре «... незамедлительно приступил к созданию динамоэлектрических машин, соответствующих его теории, т.е. производящие электричество при высоком напряжении и способные передавать серьезные силы. Эти машины не предназначались исключительно для экспериментов, они были сконструированы и для практического применения» [12].

Общий вид высоковольтного генератора постоянного тока последовательного возбуждения представлен на рис. 3. Машина имела два якоря диаметром по 300 мм, расположенных на одном валу. Толщина провода катушек составляла 1 мм. Развивая скорость в 750 об/мин, генератор выдавал напряжение 2700 В. Катушки обмоток генератора могли с помощью специальных клемм, находящихся на корпусе генератора, собираться в требуемую схему [13].

Первоначально планировалось использование двух одинаковых машин – генератора и двигателя, но по какой-то причине был изготовлен только генератор. Поэтому на другом конце электропередачи были вынуждены применить двигатель, представляющий собой стандартную машину Грамма типа *D* (*de la Type Guerre*). Депре снял заводские обмотки и заменил их на провода меньшего диаметра с большим количеством витков. Таким образом, двигатель получил возможность работать при высоком напряжении. Машины были полностью собраны к январю 1883 г., их испытали в лаборатории, и они «вроде оправдали ожидания». Осталось найти подходящую линию для передачи электроэнергии. Администрация Мюнхена изъявила желание повторить эксперимент прошлого года на более совершенном оборудовании. Но Депре хотел провести эксперименты только во Франции. На тот момент существовало несколько «свободных» телеграфных линий, не задействованных в работе, но их администрация опасалась высоких напряжений, используемых М. Депре в своих экспериментах [14]. Марсель Депре в ноябре 1882 г. написал письмо министру почт и телеграфов с просьбой выделить для его новых экспериментов телеграфный провод. Но этот запрос так и остался без ответа. К большой удаче Депре администрация Северной железной дороги (*Compagnie du Chemin de fer du Nord*) дала согласие на проведение опытов в ее мастерских и предоставила в помощь нескольких «инженеров по оборудованию», чьи фамилии сохранились в протоколах экспериментов: Альбер Сартьо (*Albert-Henri-Alphonse Sartiaux*), Делебек (*Délebecque*), Соваж (*Sauvage*). Кроме того, в распоряжение французского электротехника это предприятие выделило около 17000 м телеграфного «гальванизированного» (оцинкованного) провода диаметром 4 мм и «движущую силу генератора» – паровую машину кузнечной мастерской [10, 15]. Здесь необходимо дать некоторые пояснения относительно источника финансирования экспериментов М. Депре. *Compagnie du Nord*

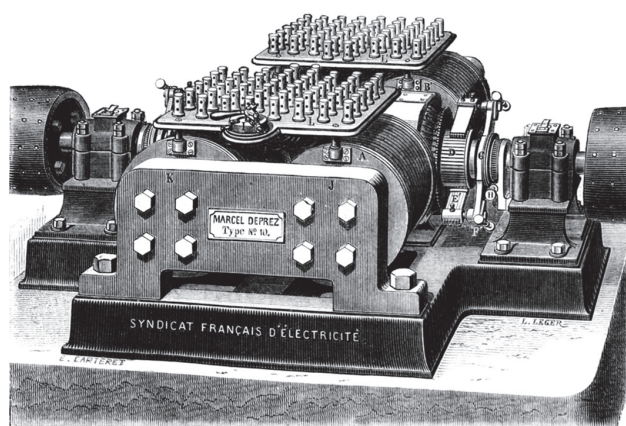


Рис. 3. Высоковольтный генератор постоянного тока М. Депре

Fig. 3. High Voltage DC Generator of M. Deprez

была акционерным обществом и управлялась комитетом директоров, на еженедельных заседаниях которого часто присутствовал крупнейший магнат, представитель французской ветви Ротшильдов, барон Эдмон де Ротшильд (*Edmond James de Rothschild*), что говорило о его активной роли в руководстве компании [16, 17].

Эксперимент имитировал электропередачу на 8500 м. Генератор и электродвигатель находились рядом друг с другом, что значительно облегчало наблюдение за экспериментами, но вместе с тем не совсем соответствовало обычным условиям электропередачи, когда генератор и двигатель находятся на расстоянии [18]. Общая схема электропередачи представлена на рис. 4.

Генераторная машина Депре была соединена с двигателем Грамма с одной стороны коротким проводом, с другой – телеграфным проводом длиной около 17 км и сопротивлением в 160 Ом. Этот провод шел от места расположения мастерских Северной железной дороги Ла Шапель (*La Chapelle*) до станции Ле Бурже (*Le Bourget*) и возвращался назад, образуя петлю, «идущую из Парижа в Париж» [11]. Общий вид установки для электропередачи Северной железной дороги показан на рис. 5.

«Желая придать своим экспериментам всю возможную достоверность и независимость от своего присутствия», Марсель Депре предложил двум авторитетнейшим ученым – французскому академику, отцу теории пластичности, одному из первых исследователей режимов динамо-машин Анри Эдуарду Треска [19] и выдающемуся английскому электротехнику Джону Гопкинсону (*John Hopkinson*) из Лондонского королевского общества принять участие в его исследованиях. А. Треска «открыто выразил заинтересованность и желание лично узнать, что можно ожидать от электрического транспорта силы». Треска также согласился

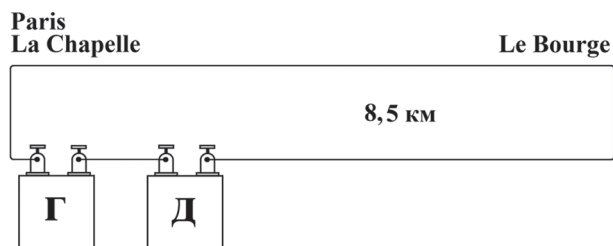


Рис. 4. Схема электропередачи Ла Шапель–Ле Бурже: Г – генератор; Д – двигатель

Fig. 4. Electrical transmission scheme La Chapelle–Le Bourget: Г – generator; Д – motor

после проведения экспериментов сделать доклад во французской академии наук [20]. Дж. Гопкинсон незамедлительно приехал из Лондона и взял на себя все электрические измерения, которые проводились в основном с помощью привезенных им приборов от сэра Уильяма Томсона (*William Thomson*) [21].

Новый генератор по прибытии на Северный вокзал попал под сильный ливень. Изоляция того времени, имеющая в своей основе нити из хлопка и шелка, впитала много воды. Это обстоятельство сначала стало большой проблемой для проведения экспериментов. Однако сроки, отпущенные Академией наук, поджимали и «волей-неволей надо было действовать». Было принято решение сушить машину во время ее работы. Журнал «*La Lumière Électrique*» писал: «Когда генератор начали приводить в движение, то его нельзя было сначала разогнать более чем до пятисот оборотов, при такой скорости пропитанные водой изоляторы пропускали электричество, и повсеместно выскакивали искры. Мы должны были начать в этих отвратительных условиях, и только постепенно, по мере того как маши-

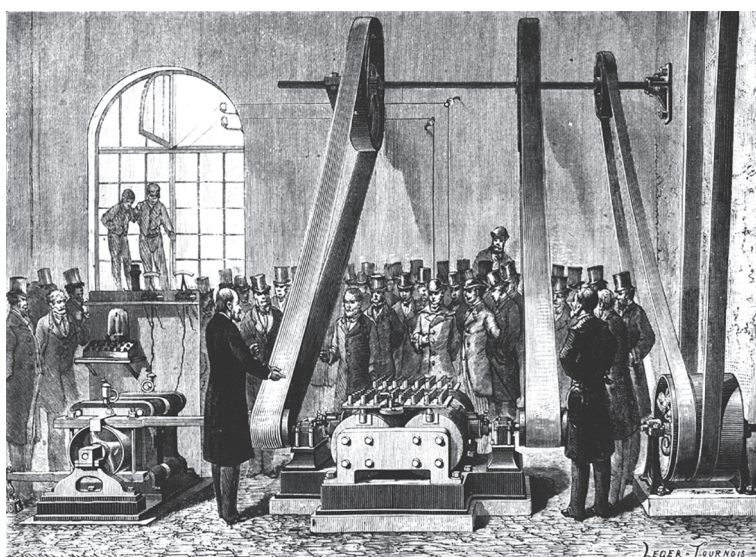


Рис. 5. Установка для электропередачи в Ла Шапеле

Fig. 5. Electrical transmission system in La Chapelle



Рис. 6. Джон Гопкинсон

Fig. 6. John Hopkinson

на медленно подсыхала, можно было достичь больших скоростей» [14].

Первые пробные пуски и измерения начались 6 февраля во вторник. В этот день были проведены измерения сопротивлений линии электропередачи и обмоток электрических машин, силы тока и испытано механическое нагрузочное устройство для двигателя Грамма [22]. Корнелиус Герц написал: «Мы смогли в прошлый вторник стать свидетелями повторения мюнхенского эксперимента» [10].

Основные исследования начались 11 февраля 1883 г. и закончились через неделю – 18 февраля. В первую очередь с помощью нажимных устройств измерили мощность на валу генератора и приемной машины, которая составила соответственно 6 и 2 л.с. Общий КПД установки при этом был около 33 %. Одной из задач исследователей стояло доказать, что возможными отклонениями, возникающими от особой конфигурации электропередачи, идущей «из Парижа в Париж», можно пренебречь. Для этого многократно измерялось напряжение на клеммах генератора и приемной машины и «разность этих значений всегда прекрасно согласовывалась с числом, получаемым от умножения сопротивления линии на силу тока» [4]. Определенные проблемы возникли из-за того, что: «двигатель был рассчитан на меньшую мощность и напряжение, чем мог развивать генератор. Коллектор приемника был источником чрезвычайно сильных искр, в то время как генератор был полностью свободен от них» [15].

Большое внимание было уделено исследованиям при различной скорости вращения генератора. Понимая из теории, что с увеличением частоты вращения генератора, а следовательно, и увеличения напряжения в линии, КПД электропередачи возрастает. Марсель Депре лично провел опыт при 910 об/мин, добившись передачи 4 л.с.

Два доклада Анри Треска в Парижской академии наук 19 и 26 февраля о результатах экспериментов на

Северной железной дороге вызвали большой интерес ученых. Более того, академия решила не оставаться в стороне от столь интересных событий в электротехнике и создала представительную рабочую группу для более подробного исследования силовой передачи электроэнергии [4, 21, 23, 24]. Имена членов этой комиссии говорили сами за себя: Жозеф Луи Франсуа Бертран (*Joseph Louis François Bertrand*) – выдающийся французский математик; Мари-Альфред Корню (*Cornu Marie Alfred*) – известный французский физик; Шарль Луи Фрейсине (*Charles Louis de Saulces de Freycinet*) – несколько раз возглавлял правительство Франции; Фердинанд Мари виконт де Лессепс (*Ferdinand Marie vicomte de Lesseps*) – автор проекта и руководитель строительства Суэцкого канала.

Эксперименты продолжились. Один из опытов был отмечен «инцидентом», к счастью без трагических последствий, который сильно переполошил испытателей. «При проведении электрических измерений г-н Корню, желая привести в действие выключатель, непреднамеренно схватил устройство за металл вместо того, чтобы взяться за изолирующую ручку, и таким образом оказался под напряжением, снятым с клемм генератора. В этот момент разница потенциалов на этих выводах была не менее 1900 вольт, поэтому М. Корню с силой отшвырнуло на несколько шагов, но он не упал. Два довольно глубоких ожога его пальцев и головокружение в течение нескольких секунд – вот единственные последствия этого несчастного случая» [14]. Интересно, что это потрясение не изменило отношения Корню к проведению подобных опытов. Французский ученый продолжал эксперименты и долгие годы оставался активным участником команды М. Депре [25]. В таблице показан наилучший результат опытов на Северной железной дороге. Видно, что КПД электропередачи вплотную подобрался к заветной цифре в 50 % [26].

Интересно, что исследования, проведенные Депре, продемонстрировали, что потери мощности, зафиксированные «в точках перехода энергии из одного вида в другой, в сумме составляют около 30 % всей затрачиваемой работы. Очевидно, что помимо токов Фуко, по-

Конечные показатели электропередачи Северной железной дороги

Final power transmission indicators of the Northern Railway

Показатель	Значение
Частота вращения генератора, об/мин	850
Частота вращения двигателя, об/мин	643
Сила тока, А	2,57
ЭДС генератора, В	2083
Механическая мощность на валу генератора P_1 , л.с.	7,408
Механическая мощность на валу двигателя P_2 , л.с.	3,572
КПД, P_2/P_1	0,482

теря энергии зависит еще от таких причин как трение ремней, щеток, искр в коллекторе, вибрации корпуса машины.... Главная потеря энергии происходит не в линии электропередачи, а в местах преобразования одного вида энергии в другой» [27].

Через полтора месяца работы 9 апреля М.-А. Корню сделал от имени всей именитой комиссии доклад, в котором он позитивно отозвался о теоретических и практических достижениях Дебре в области силовой электропередачи: «Результаты, полученные г-ном М. Дебре, во всех отношениях соответствуют теоретическим принципам, которыми должны руководствоваться инженеры, намного превышают все, что было сделано до него, как относительно величин переданной работы при большом сопротивлении, так и относительно механического полезного действия. Электрический генератор, который он спроектировал и изготовил, имеет большие преимущества по сравнению с теми, которые строятся сегодня для тех же целей. Результаты экспериментов были бы, возможно, еще лучше, если бы был готов второй экземпляр, который бы служил приемной машиной (электрический двигатель – прим. авт.). Комиссия не вправе судить об экономической ценности и промышленном будущем полученных результатов. Но после глубокого изучения реализованных принципов она, не колеблясь, провозглашает важность фактов, которые она могла наблюдать. Следовательно, комиссия предлагает Академии поздравить г-на Марселя Дебре со значительным прогрессом, достигнутым им в решении очень интересной проблемы электрической передачи энергии, и поощрить его продолжать свою работу» [4, 26]. Выводы доклада Корню были поставлены на голосование, и они были приняты.

Корнелиус Герц в своей заметке в журнале *«La Lumière Électrique»*, посвященной итогам экспериментов М. Дебре в Париже, написал: «Собрание 9 апреля станет эпохой в истории электричества. После торжественной санкции Академии наук французское правительство захотело отметить работу нашего друга, назначив его офицером ордена Почетного легиона» [28]. Это была вторая степень ордена, первую (кавалер ордена) Дебре получил в 1881 г. за свои достижения в области электричества.

Популярное французское издание *«Le Monde Illustré»* в апреле опубликовало портрет Марселя Дебре и напечатало статью о нем: «Марсель Дебре 12 апреля был награжден крестом офицера Почетного легиона. Электрик, автор многочисленных и замечательных работ по электричеству. Все наши читатели знают этого прославленного и скромного ученого, только что совершившего настоящую революцию в нашей отрасли» [29]. Далее журнал опубликовал интервью Дебре, короткий отрывок из которого мы здесь приведем: «Моя цель, использовать огромные силы природы (потoki воды и водопады), которые в настоящее время не ис-

пользованы и которые намного превосходят силу всех паровых машин Франции. Эти природные силы представляют собой несколько миллионов лошадиных сил. Сегодня, чтобы получить эту силу, необходимо транспортировать уголь с большими затратами, которые истощают день ото дня» [29].

Тем не менее, несмотря на авторитет испытателей, тщательность исследований и поддержку Парижской академии, результаты экспериментов опять были подвергнуты сомнению. Основная критика сводилась к следующему. Во время Мисбах-Мюнхенской передачи Дебре разнес генератор и двигатель на 57 км, что затрудняло одновременно снимать их показания. Теперь же во время опытов на Северной железной дороге генератор и двигатель находились рядом друг с другом, что могло повлиять на общие показатели в сторону увеличения КПД. Эти предположения были несколько надуманы, но среди оппонентов было немало громких имен, в том числе математик Морис Леви (*Maurice Lévy*) и инженер-электрик Эдуард Госпиталье (*Édouard Hospitalier*) [18, 30].

Недоверие к результатам экспериментов Марселя Дебре основывалось на самой схеме электропередачи (рис. 7).

В Мисбах-Мюнхенской электропередаче генератор и двигатель находились «на двух крайних станциях и все потери тока, которые происходили от такой изоляции линии, имели вредное влияние на величину полезной переданной работы, тогда как в Париже, где двигатель и генератор стояли в одной комнате, а провод играл роль лишь простого сопротивления, плохая изоляция линии имела благоприятное влияние на величину переданной работы, так как, начиная с первого изолятора, можно считать линию имеющей гораздо меньшее сопротивление, нежели вычисленное, вследствие ответвлений тока в каждом телеграфном столбе» [31]. Э. Госпиталье писал: «В дождливые дни, когда линия будет иметь меньшую изоляцию, сопротивление этого контура будет менее велико, а работа, собранная в соединении, при всех равных замыканиях будет больше, чем при хорошей изоляции. Отсюда такое парадоксальное следствие: плохо изолированная линия предпочтительнее, чем добротно изолированная, тогда как опыт Мюнхена свидетельствует об обратном» [18, 32].

Редакция журнала *«La Lumière Électrique»* тяжело переживала критику М. Дебре и оказывала ему горячую поддержку, которая зачастую переходила рамки официальной корректности. На страницах мартовского выпуска этого издания можно прочесть: «Скрупулезная осторожность Марселя Дебре, отказ его от всякой бесполезной инсценировки, недостойной элитной публики, приглашенной на этот опыт, была, естественно, неверно истолкована определенным числом мелких псевдо-авторов-ученых, которых забыли пригласить и чья досада и смятение росли по мере того, как успех работы, предпринятой г-ном Дебре, продолжался. Помнятся все угрюмые и гротескные атаки, поводом

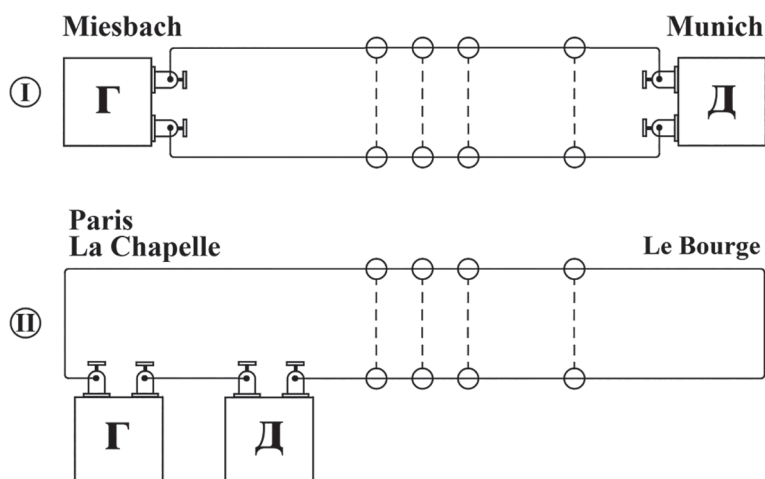


Рис. 7. Возможные утечки тока в электропередачах М. Депре: I – Мисбах–Мюнхен; II – Ла Шапель–Ле Бурже; Г – генератор; Д – двигатель
Fig. 7. Possible current leaks in electrical transmission of M. Deprez: I – Miesbach–Munich; II – La Chapelle–Le Bourget; Г – generator; Д – motor

для которых послужил мюнхенский опыт. Мы видим их обновленными в отношении опыта на Северной железной дороге с той, однако, разницей, что г-на Депре тогда упрекнули в том, что он сделал контроль над экспериментами почти невозможным, поместив две машины на расстоянии 57 км одна от другой. Теперь же его упрекают в том, что он сблизил их и таким образом сделал расстояние иллюзорным» [20].

В 1884 г. Теодос дю Монсель объяснил основную причину нападков на Депре исключительно завистью коллег [9].

Выводы. Верификация теории передачи электрической энергии Марселя Депре потребовала проведения новых экспериментов под пристальным контролем научного сообщества. Проведенные опыты на Северной железной дороге продемонстрировали более позитивные результаты, чем полученные ранее показатели в Мюнхене. КПД системы генератор – линия передачи – двигатель достиг 48 %. В результате жарких научных дискуссий происходит формирование профессиональной команды М. Депре, доказывающей на практике возможность осуществления силовой транспортировки электроэнергии.

Во второй части статьи будет рассказано о новой электропередаче Марселя Депре из Визилия в Гренобль, где французский электротехник со своей командой добился выдающихся результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горький М. О литературе. Статьи и речи. 1928–1935 гг. М.: Гослитиздат, 1935, 432 с.
2. 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, p.129–132.
3. Бородин Д.А. Мюнхенская выставка Оскара фон Миллера. Ч. 2. Замечательный результат (к 140-летию Мисбах–Мюнхенской электропередачи М. Депре. – Электричество, 2023, № 1, с. 61–75.
4. Опыты передачи работы на Северной железной дороге в Париже. – Электричество, 1883, № 12, с. 141–143.

5. Лодж О.Д. Теория передачи силы с помощью электричества. – Электричество, 1883, № 10–12, с.126–128.
6. Бородин Д.А., Каск А.Н. Золотой век электротехники в российской и зарубежной печатной графике. – Электричество, 2020, № 1, с. 55–65.
7. Как возникает номер «Нивы». – Нива, 1887, № 49, с. 1238–1243.
8. Notre Programme. – La Lumière Électrique, 1879, No. 1, p. 1.
9. Moncel Th. Des progrès de la science électrique en 1883. – La Lumière Électrique, 1884, No. 1, pp. 4–7.
10. Herz C. Les expériences de Marcel Deprez au chemin de fer du Nord. – La Lumière Électrique, 1883, No. 6, pp. 161–164.
11. Веников В.А., Шнейберг Я.А. От истоков электропередачи к прогнозам на будущее. – Электричество, 1983, № 11, с. 1–7.
12. Figuier L. Les Nouvelles Conquêtes de la science. L'Électricité. Paris: Librairie illustrée, 1884, 644 p.
13. Deprez M. La génératrice des expériences du chemin de fer du Nord. – La Lumière Électrique, 1883, No. 27, p. 292.
14. Gerdal F. Le transport électrique de la force, travaux de M. Marcel Deprez. Résumé des expériences. – La Lumière Électrique, 1884, No. 1, p. 46–70.
15. Deprez M. Expériences du chemin de fer du Nord. – La Lumière Électrique, 1883, No. 8, pp. 227–229.
16. Prévoit A. Des innovations électriques dans les chemins de fer à Albert Sartiaux. – Revue d'histoire des chemins de fer, 2008, No. 39, pp. 45–60.
17. Giffard P. Les expériences de M. Marcel Deprez à Creil. – Le Figaro, 1885, № 318, p. 2.
18. Hospitalier E. Transport de force à distance par deux machines dynamo-électriques, expériences de M. Marcel Deprez. – La Nature, 1883, No. 507, pp. 178–180.
19. Симоненко О.Д. Электрическая наука в первой половине XX века. М.: Наука, 1988, 144 с.
20. Transport électrique de la force: Expériences du chemin de fer du Nord. – La Lumière Électrique, 1883, No. 9, pp. 271–272.
21. Herz C., Tresca A.E. Résultats des expériences faites dans les ateliers du chemin de fer du Nord sur le transport électrique du travail à grande distance de M. Marcel Deprez, notes de M. Tresca. – La Lumière Électrique, 1883, No. 9, pp. 276–279.
22. Deprez M. Expériences du chemin de fer du Nord. – La Lumière Électrique, 1883, No. 7, pp. 198–199.
23. Compte rendu sténographique de la séance de l'Académie des Sciences du 19 février 1883. – La Lumière Électrique, 1883, No. 9, pp. 272–275.

24. **Meunier S.** Académie des Sciences. Expérience de M. Deprez. – La Nature, 1883, No. 508, p.207.

25. **Lévy M.** Transport de grandes forces motrices. A grandes distances expériences entre Creil et Paris (3e article). – Annales Industrielles, Paris, 1886, pp. 333–343.

26. **Rapport** sur les machines électro-dynamiques appliquées à la transmission du travail mécanique de M. Marcel Deprez. (Commissaires: MM. Bertrand, Tresca, de Lesseps, de Freycinet; Cornu, rapporteur). – La Lumière Électrique, 1883, No. 15, pp. 450–460.

27. **Егоров С.** Передача работы электрическим током. – Электричество, 1884, № 14-15, с. 117–122.

28. **Herz C.** Transport électrique de la force à grande distance. – La Lumière Électrique, 1883, № 15, p. 449.

29. **Dick de L.** Marcel Deprez. – Le Monde Illustré, 1883, No. 1360, pp. 244–246.

30. **Herz C., Tresca A.E.** Résultats d'une nouvelle série d'expériences sur les appareils de forces dans les ateliers du chemin de fer du Nord sur le transport de travail mécanique installés au Chemin de fer du Nord par de M. Marcel Deprez, note de M. Tresca. – La Lumière Électrique, 1883, No. 9, pp. 279–283.

31. **Опыты** Марселя Депре над передачей силы на расстоянии. – Техник, 1883, № 18, с. 1–2.

32. **Осадчий Н.П.** Исторический очерк развития передачи электрической энергии на расстояние. М.-Л.: Энергия, 1964, 96 с.

Поступила в редакцию [17.05.2023]

Принята к публикации [25.05.2023]

Автор:



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

Elektrichestvo, 2023, No. 7, pp. 77–85

DOI:10.24160/0013-5380-2023-7-77-85

Marcel Deprez's Experiments on Electric Power Transmission. Part 1. Northern Railway (to the 180th Anniversary of the Birth of M. Deprez)

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

This three-part publication focuses high-voltage direct current transmissions by the French scientist Marcel Deprez. The results of the Misbach-Munich experiment in 1882, despite their modest result (distance - 57 km, transmitted power - 0.4 hp, efficiency - 28%, voltage - about 1400 V) were disputed by a number of prominent scientists who reproached M. Deprez in measurement inaccuracies and even in the manipulation of the obtained data. To confirm his theory, Deprez decided to conduct a series of new experiments. The first part of the article describes a power transmission that took place in early 1883 on the Northern Railway near Paris. For the new experience, a special high-voltage generator and DC motor were designed and a high-voltage track 8.5 km long was built. The outstanding physicists Henri Édouard Tresca, John Hopkinson and a special commission of the French Academy of Sciences participated in the experiments. As a result of several experiments, it was possible to achieve a power transmission efficiency of 48%, with a transmitted power of 3.5 hp. With despite the encouraging figures, heated debate about the results of the experiments did not subside.

Key words: DC power transmission, Northern Railway power transmission, Marcel Deprez, Cornelius Herz, Théodose du Moncel, John Hopkinson, Henri Édouard Tresca

REFERENCES

1. **Gor'kiy M.** *O literature. Stat'i i rechi. 1928–1935 gg.* (About literature. Articles and Speeches. 1928–1935). M.: Goslitizdat, 1935, 432 p.
2. **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, p.129–132.
3. **Borodin D.A.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2023, No. 1, pp. 61–75.
4. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 1883, No. 12, pp. 141–143.
5. **Lodzh O.D.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 1883, No. 10-12, pp.126–128.

6. **Borodin D.A., Kask A.N.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2020, No. 1, pp. 55–65.
7. **Niva** – in Russ. (*Niva*), 1887, No. 49, pp. 1238–1243.
8. **Notre Programme.** – La Lumière Électrique, 1879, No. 1, p. 1.
9. **Moncel Th.** Des progrès de la science électrique en 1883. – La Lumière Électrique, 1884, No. 1, pp. 4–7.
10. **Herz C.** Les expériences de Marcel Deprez au chemin de fer du Nord. – La Lumière Électrique, 1883, No. 6, pp. 161–164.
11. **Venikov V.A., Shneyberg Ya.A.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 1983, No. 11, pp. 1–7.

12. **Figuiet L.** Les Nouvelles Conquêtes de la science. L'Électricité. Paris: Librairie illustrée, 1884, 644 p.
13. **Deprez M.** La génératrice des expériences du chemin de fer du Nord. – La Lumière Électrique, 1883, No. 27, p. 292.
14. **Géraldy F.** Le transport électrique de la force, travaux de M. Marcel Deprez. Résumé des expériences. – La Lumière Électrique, 1884, No. 1, p. 46–70.
15. **Deprez M.** Expériences du chemin de fer du Nord. – La Lumière Électrique, 1883, No. 8, pp. 227–229.
16. **Prévot A.** Des innovations électriques dans les chemins de fer à Albert Sartiaux. – Revue d'histoire des chemins de fer, 2008, No. 39, pp. 45–60.
17. **Giffard P.** Lez expériences de M. Marcel Deprez a Creil. – Le Figaro, 1885, № 318, p. 2.
18. **Hospitalier E.** Transport de force à distance par deux machines dynamo-électriques, expériences de M. Marcel Deprez. – La Nature, 1883, No. 507, pp. 178–180.
19. **Simonenko O.D.** *Elektricheskaya nauka v pervoy polovine XX veka* (Electrical Science in the First Half of the XX Century). M.: Nauka, 1988, 144 p.
20. **Transport** électrique de la force: Expériences du chemin de fer du Nord. – La Lumière Électrique, 1883, No. 9, pp. 271–272.
21. **Herz C., Tresca A.E.** Résultats des expériences faites dans les ateliers du chemin de fer du Nord sur le transport électrique du travail à grande distance de M. Marcel Deprez, notes de M. Tresca. – La Lumière Électrique, 1883, No. 9, pp. 276–279.
22. **Deprez M.** Expériences du chemin de fer du Nord. – La Lumière Électrique, 1883, No. 7, pp. 198–199.
23. **Compte** rendu sténographique de la séance de l'Académie des Sciences du 19 février 1883. – La Lumière Électrique, 1883, No. 9, pp. 272–275.
24. **Meunier S.** Académie des Sciences. Expérience de M. Deprez. – La Nature, 1883, No. 508, p. 207.
25. **Lévy M.** Transport de grandes forces motrices. A grandes distances expériences entre Creil et Paris (3e article). – Annales Industrielles, Paris, 1886, pp. 333–343.
26. **Rapport** sur les machines électro-dynamiques appliquées à la transmission du travail mécanique de M. Marcel Deprez. (Commissaires: MM. Bertrand, Tresca, de Lesseps, de Freycinet; Cornu, rapporteur). – La Lumière Électrique, 1883, No. 15, pp. 450–460.
27. **Egorov S.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 1884, No. 14–15, pp. 117–122.
28. **Herz C.** Transport électrique de la force à grande distance. – La Lumière Électrique, 1883, № 15, p. 449.
29. **Dick de L.** Marcel Deprez. – Le Monde Illustré, 1883, No. 1360, pp. 244–246.
30. **Herz C., Tresca A.E.** Résultats d'une nouvelle série d'expériences sur les appareils de forces dans les ateliers du chemin de fer du Nord sur le transport de travail mécanique installés au Chemin de fer du Nord par de M. Marcel Deprez, note de M. Tresca. – La Lumière Électrique, 1883, No. 9, pp. 279–283.
31. **Tekhnika** – in Russ. (Technician), 1883, No. 18, pp. 1–2.
32. **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.

Received [17.05.2023]

Accepted [25.05.2023]