



Этот «гадкий утенок» – переменный ток

Ю.В. Черников

Проблема передачи энергии на расстояние возникла в связи с появлением крупных промышленных предприятий, на которых приводились в действие несколько исполнительных механизмов от одного двигателя. Раньше всего появились способы механической передачи (штанги, тяги), а затем получили распространение различные способы передачи механической энергии с помощью приводных ремней и канатов (передачи с гибкой связью).

Использование электромагнитного телеграфа привело к мысли о возможности передачи по проводам более значительного количества энергии. Всеобщую известность получили опыты французского электрика Ипполита Фонтена, главного инженера завода электрических машин Грамма [1]. В 1873 г. на Венской международной выставке Фонтен демонстрировал обратимость электрических машин постоянного тока. Одна из двух одинаковых машин Грамма работала в режиме генератора, а вторая – в режиме двигателя, приводя в действие водяной насос, обеспечивающий подачу воды из бассейна на искусственный водопад. Чтобы вода не перелилась из бассейна, Фонтен решил несколько снизить обороты электродвигателя и в качестве дополнительной нагрузки включил между машинами кабель длиной около километра, намотанный на барабан и имитирующий расстояние между машинами. Однако сам Фонтен не был убежден в экономической целесообразности электропередачи, так как при применении соединительного кабеля было получено значительное снижение мощности двигателя из-за потерь энергии в кабеле. Как извест-

но из закона Джоуля – Ленца, потери в линии зависят от напряжения, а также удельного сопротивления и сечения провода. Снижение удельного сопротивления проводов было практически неосуществимо, так как медь, ставшая основным материалом для их изготовления, имеет предельно малое удельное сопротивление. Следовательно, имелись только два пути снижения потерь в линии: увеличение сечения проводов или повышение напряжения.

В 1874 г. штабс-капитан гвардейской артиллерии Федор Аполлонович Пироцкий для уменьшения потерь в линии при передаче электрической энергии предложил использовать в качестве проводников железнодорожные рельсы, площадь сечения которых более чем в 600 раз превышала сечение обыкновенного телеграфного провода. В конце 1875 г. Пироцкий провел опыты передачи электроэнергии по рельсам бездействовавшей ветки Сестрорецкой железной дороги. Оба рельса изолировались от земли, один из них служил прямым, а второй – обратным проводом. Чтобы улучшить проводимость рельсового пути, он применил стыковые электрические соединения.

Электрическая энергия передавалась от небольшого генератора Грамма к электродвигателю, удаленному на расстояние около 1 км. В августе 1880 г. Пироцкий осуществил пуск электрического трамвая на опытной линии в районе Рождественского парка конной железной дороги в С.-Петербурге.

Пироцкий был не единственным электротехником, ставшим на путь увеличения сечения проводов. В 1876 г. Вернер Сименс, посетив Ниагарский водопад, утверждал, что для передачи энергии водопада на расстояние 50 км потребуются провода диаметром 75 мм, для изготовления которых «придется использовать целый медный рудник».

В 1892 г. выдающийся русский изобретатель Николай Николаевич Бенардос предложил для передачи электроэнергии «проложить на высоких металлических или каменных столбах трубу из котельного железа, внутри которой по ее стенам пойдут электрические проводники, укрепленные на изоляторах особой системы, не допускающей утечки тока и позволяющей быстро и удобно производить проводку; на дне трубы должен быть проложен рельсовый путь

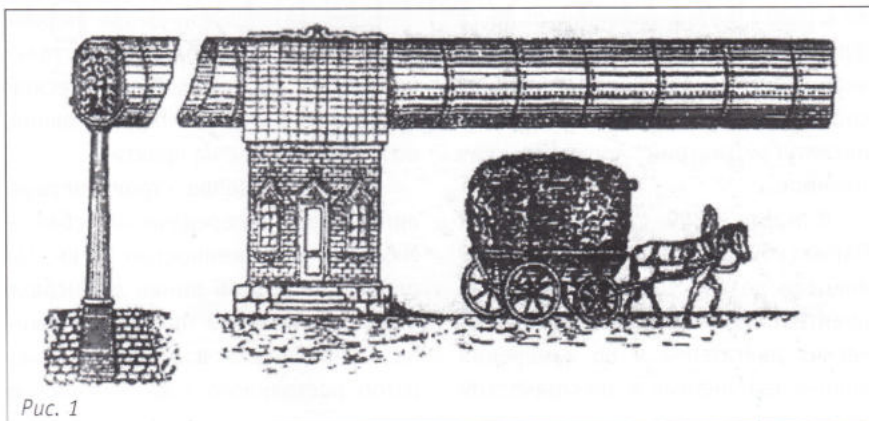


Рис. 1

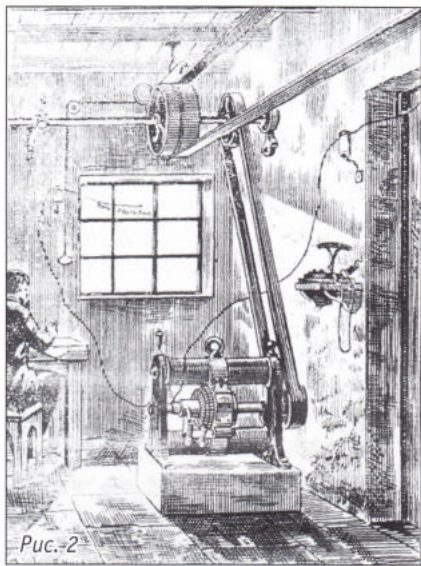


Рис. 2

для ручной дрезинки, на которой мог свободно проезжать дистанционный сторож, ревизор, смотритель проводов или рабочий». Необходимость прокладывания трубы на высоких столбах объяснялась тем, что в те времена чрезвычайно боялись поражения током, поэтому требовали подвешивать провода так, чтобы под ними мог проехать «воз с сеном, на котором сидит казак с пикой» (рис. 1) [2].

В результате выполненных исследований стало очевидно, что увеличение сечения проводов требует значительных материальных затрат и не может быть широко использовано для снижения потерь в линии при передаче электрической энергии в промышленности.

Другой путь решения проблемы передачи электрической энергии, основанный на повышении напряжения, сначала был проработан теоретически. Наиболее обстоятельные исследования этого вопроса выполнили в 1880 г. независимо друг от друга французский инженер (впоследствии академик) Марсель Депре и профессор физики Петербургского лесного института Дмитрий Александрович Лачинов.

В марте 1880 г. в протоколах Парижской академии наук был опубликован доклад Депре «О коэффициенте полезного действия электрических двигателей и об измерении количества энергии в электрической

цепи», в котором он математически доказывал, что к.п.д. установки, состоящей из электродвигателя и линии передачи, не зависит от сопротивления самой линии. Депре вначале не удалось установить, что увеличение сопротивления не влияет на эффективность электропередачи только при определенном условии, а именно – при увеличении напряжения передачи.

Это условие было впервые указано Лачиновым в статье «Электромеханическая работа», опубликованной в июне 1880 г. в первом номере журнала «Электричество». На основе математических выкладок Лачинов показал, что в электропередаче «полезное действие не зависит от расстояния» лишь при условии увеличения скорости вращения генератора, т.е. при повышении напряжения в линии, так как э.д.с., развиваемая генератором, пропорциональна скорости. Лачинов также установил количественное соотношение между параметрами линии передачи, доказав, что для сохранения к.п.д. передачи при увеличении сопротивления линии в n раз, т.е. увеличении расстояния передачи, необходимо увеличить скорость вращения генератора в $\sqrt{n}$ раз: «Если, например, – писал Лачинов, – увеличим R в 100 раз, то при передаче того же числа лошадиных сил скорость будет десятикратная», а в примечании добавляет: «а сила тока – одна десятая первоначальной» [3].

В августе 1881 г. появилась вторая статья Депре по этому вопросу, в которой он пришел к тем же окончательным выводам, что и Лачинов.

Большой заслугой Депре является то, что он разрабатывал не только теорию передачи электрической энергии на значительное расстояние, но и применял ее на практике.

В 1882 г. Депре строит первую линию электропередачи «Мисбах – Мюнхен» протяженностью 57 км. На одном конце этой линии в Мисбахе была установлена паровая машина, приводившая в действие генератор постоянного тока мощностью

3 л.с., дававший ток напряжением 1,5 – 2,0 кВ (рис. 2). Энергия передавалась по стальным телеграфным проводам диаметром 4,5 мм на территорию выставки в Мюнхене, где была установлена такая же машина, работающая в режиме электродвигателя и приводившая в действие насос для искусственного водопада (к.п.д. передачи не превышал 25 %). Специальной комиссией это событие было оценено как «величайшее с момента изобретения телефона». Строительство линий по передаче электрической энергии, в которых стремились повысить их к.п.д., продолжалось:

- 1882 г., Париж, Депре поставил две машины рядом и соединил их кабелем (на барабане) длиной 15 км (к.п.д. передачи – 0,48);

- 1883 г., линия «Визиль – Гренобль» протяженностью 14 км; в Визиле водопад через турбину приводил в действие генератор мощностью 11,5 л.с.; в Гренобле работали несколько электродвигателей печатных машин (к.п.д. передачи – 0,62);

- 1885 г., линия «Крейль – Париж» протяженностью 56 км; специально созданные электрические машины давали напряжение до 6 кВ, мощность – 50 л.с. (к.п.д. передачи – 0,45);

- 1886 г., линия «Золотурн – Кригшtedтен» (Швейцария) протяженностью 7,4 км, мощность на выходе генератора 50 л.с. (к.п.д. передачи – 0,75).

Литература:

1. Веселовский О.Н., Шнейберг Я.А. Энергетическая техника и ее развитие. – М.: «Высшая школа», 1970. – С. 125 – 126.

2. Старые номера журнала «Электричество»: Передача энергии минувшего, Новости электротехники, 2001, №5 (11), (<http://www.news.elteh.ru>).

3. Ржонсницкий Б.Н. Дмитрий Александрович Лачинов. – М.-Л.: ГЭИ, 1949. – С. 63.

(Окончание следует)