

М. А. ШАТЕЛЕН

РУССКИЕ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
XIX

В Е К А

*Допущено Главным управлением
политехнических и машиностроительных вузов
Министерства высшего образования СССР
в качестве учебного пособия
для энергетических и электротехнических
институтов и факультетов*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
Москва — Ленинград
1955



БОРИС СЕМЕНОВИЧ ЯКОБИ

1801 — 1874

Борис Семенович Якоби был одним из тех крупных физиков середины XIX века, которые настойчиво стремились найти пути для практических применений электрической энергии. Среди них Якоби, по результатам своих работ, несомненно, занимал одно из видных мест, хотя в числе современников его были такие люди, как Фарадей, Ампер, Араго и др. «Имя Якоби,— писал президент нашей Академии С. И. Вавилов,— выдающегося физика, гениального электротехника и изобретателя по праву должно быть поставлено наряду с другими славными именами современников — Эйлера, Ломоносова, Петрова».

Борис Семенович Якоби сочетал в себе талант физика-исследователя с выдающимися инженерными способностями. Он умел находить такие формы для выражения результатов своих исследований, которые делали эти результаты непосредственно приложимыми для практических целей. Возможно, это явилось следствием сложившихся условий его жизни, делавших Якоби то архитектором, то строителем мостов, то ученым физиком и электриком.

Немец по месту рождения, Б. С. Якоби в молодые годы переехал в Россию, и Россия стала его второй родиной, как об этом он неоднократно и громко заявлял и не раз доказывал это всей своей деятельностью.* Уже незадолго до смерти (в 1872 г.) Якоби писал, что он обращается «с чувством удовлетворенного сознания к своей тридцатисемилетней ученой деятельности, посвященной всецело стране, которую привык считать вторым отечеством, будучи связан с ней не только долгом подданства и тес-

* Подробные биографические сведения см. М. И. Радовский, Борис Семенович Якоби, Госэнергоиздат, 1953.



Б. С. ЯКОБИ

ными узами семьи, но личными чувствами гражданина». Подобное утверждение содержится в его выступлении в защиту своего приоритета в изобретении гальванопластики и в ряде других.

Родился Борис Семенович Якоби в Германии, в Потсдаме, в 1801 г. Высшее образование получил сначала в Берлинском, а затем в Гейдельбергском университете, интересуясь особенно вопросами прикладной механики. Уже с первых шагов своей деятельности Якоби не довольствовался повторением того, что было сделано другими, а стремился искать новые пути. В частности, в этот период у него зародилась мысль использовать не задолго перед тем открытые электромагнитные явления для создания двигателя нового типа.

В те годы получили уже широкое применение на практике, кроме водяных и ветровых двигателей, также и двигатели паровые. Паровые двигатели несомненно имели ряд преимуществ перед гидравлическими и ветровыми и в смысле возможности их повсеместного применения, и в смысле относительной легкости их перемещения, но они имели и ряд крупных недостатков, как то: необходимость иметь для питания их паровые котлы, в то время весьма громоздкие и неэкономичные, большие запасы топлива, необходимость непрерывного наблюдения за питанием котлов водой и топливом и т. п. Электродвигатель, питаемый от гальванической батареи, казался лишенным всех этих недостатков, и потому попытки создать электромагнитный двигатель возникли сейчас же после открытия явлений электромagnetизма.

Двигатели изготавливались и с вращательным движением якоря и с возвратно-поступательным (подобно движению поршня паровой машины), но сколько-нибудь значительного успеха они не имели: коэффициент полезного действия их был очень невелик, а главное их удавалось строить только на очень ограниченную мощность, не превосходившую долей паровой лошадиной силы (единиц, в которых в то время выражалась мощность машин и двигателей). Изобретатели подходили к решению задачи о конструкции двигателя чисто эмпирически, даже не пытаясь в какой-либо мере теоретически обосновать предлагаемые конструкции; господствовал грубый эмпиризм.

Якоби первый пошел по другому пути. В своей работе «*О применении электромагнетизма для приведения в движение машин*» он подробно изложил все свои теоретические соображения, основанные в значительной степени на результатах его же исследований в области электромагнетизма. О своих работах, сделанных еще в бытность в Пруссии, он сообщил в Парижскую Академию наук в конце 1834 г. Работа была опубликована Парижской Академией наук в декабре того же года в журнале «*L'Institut*,

journal general des sociétés et travaux scientifiques..., Paris, 1834, t. 2, p. 394—395.

Однако еще раньше известие об изобретении Якоби проникло в общую прессу и возбудило большой интерес и даже весьма преувеличенные надежды. Изобретение Якоби приняли за изобретение нового вечного двигателя (рергетиум mobile), о котором так много мечтали многочисленные изобретатели всех веков. Уже 3 августа 1834 г. в немецком журнале «*Berlinische Nachrichten non Staats und gelehren Sachen*» (№ 181) была напечатана корреспонденция из Кёнигсберга об изобретении Якоби. Пятого сентября того же года в издаваемой тогда в Петербурге на немецком языке газете «*St.-Petersburger Zeitung*» (№ 206) под громким названием «Электромагнитный Рергетиум mobile» была напечатана статья следующего содержания: «Кёнигсберг (3 августа). Уже 8-го апреля текущего года архитектору (Baumenter) Якоби удалось здесь получить беспрерывное вращение посредством возбуждения электромагнетизма в мягком железе. Изготовленный в мастерской механика Штейнфурта аппарат больших размеров был показан 16 мая многим здешним выдающимся ученым и техникам, которые наблюдали его действие. Он состоит из восьми неподвижных и восьми прикрепленных к диску, вращающемуся на горизонтальном валу, железных стержней длиною в 7" и диаметром в 14", обмотанных спиральными витками медной проволоки толщиною в 1½".* Концы этой проволоки попаременно соприкасаются то с цинковой, то с медной пластинкой обыкновенной гальванической батареи, благодаря чему возникает магнитная сила, которая вращает со скоростью 5½ футов в секунду массу весом около полуцентнера. Происходящая при каждом обороте (или через каждые 7/8 секунды) восьмикратная смена полюсов производится при помощи особого устройства оригинальной конструкции. Г-н Якоби в настоящее время занят доказательством несомненной возможности применения этой новой силы к движению машин».

В том же (1834) году, в № 10 Петербургского журнала Мануфактур и Торговли была помещена статья об изобретении Якоби, сообщающая те же сведения, что и «*St.-Petersburger Zeitung*».*

Таким образом, вопросом об электродвигателях и их применении для приведения в движение машин — орудий и других механизмов — Якоби начал заниматься на заре своей техничес-

* Две черточки над цифрами обозначают дюймы, а три — линии, т. е. одну десятую дюйма. *M. Ш.*

** Все помещенные здесь сведения о первых известиях о работах Якоби над его двигателем сообщены мне сотрудником Комиссии по истории физико-математических наук АН СССР М. Г. Невлянской. *M. Ш.*

ской деятельности, однако сравнительно широко развить свои исследования он смог только после переезда в Россию. «В Германии,— как писал сам Якоби,— я не мог продолжать свои опыты и даже должен был прекратить их на время». В России, куда Якоби переехал после избрания его Советом Дерптского университета экстраординарным профессором по кафедре гражданской архитектуры (8 июня 1835 г.), он возобновил свои исследования.

На работы Якоби обратили внимание русского правительства знаменитый астроном Струве, бывший тогда профессором астрономии в Дерпте, и изобретатель электромагнитного телеграфа член-корреспондент Академии наук П. Л. Шиллинг, сам работавший в то время над усовершенствованием электрического способа взрывания подземных и подводных мин и над своим электромагнитным телеграфом. Они сообщили о работах Якоби над электромагнитным двигателем Министру финансов Николая I графу Канкрину, причем пояснили, что для продолжения работ, открывающих большие перспективы, нужны немалые средства. Убежденный их доводами Канкрин согласился отпустить на работы Якоби до 50 000 руб., однако тут же сказал, что как Министр финансов он может это сделать только по представлению Министра народного просвещения, в ведении которого находился Дерптский университет — место службы Якоби. Вследствие этого Якоби было предложено написать графу Уварову, бывшему тогда Министром народного просвещения и одновременно Президентом Академии наук, соответствующую докладную записку и приехать в Петербург для личных переговоров.

В докладной записке, к которой он приложил свой труд «О применении электромагнетизма для приведения в движение машин», Якоби изложил свой взгляд на значение вообще механизации для развития народнохозяйственной жизни страны. В этой записке Якоби писал: «То громадное влияние, которое оказали механические двигатели на общественную и материальную сторону жизни, в настоящее время настолько всеми признаено, что изобретение всякого нового двигателя должно рассматриваться не просто как любопытное открытие, а как событие мирового значения, тем более, если это открытие относится к тем силам природы, которые до настоящего времени использовались в совершенно других областях».

Именно факт, что в его двигателе применялись для движения «новые силы», не использованные до того времени, Якоби считал одним из главных достоинств своего двигателя. Вторым достоинством он считал то, что «машина дает непосредственно круговое движение, которое гораздо легче преобразовывать в другие виды движения».

Как было уже упомянуто, изобретение Якоби по времени совпало с быстрым ростом числа примененных паровых машин. К этим машинам потребители уже привыкли и вместе с тем привыкли к тому, что в машинах поршень имеет непрерывное возвратно-поступательное движение, затем уже преобразуемое во вращательное. Этот характер движения в машинах многими считался настолько необходимым, что и в электромагнитных машинах большинства конструкторов он искусственно сохранялся, несмотря на явную невыгодность двойного преобразования.

Как смотрели на «новые силы» современники Якоби, можно судить по статье, напечатанной в американском журнале «Journal of Science and Arts» в 1837 г. «Наука,— писал редактор журнала,— совершенно неожиданно дала нам в руки новую силу большой, но незнакомой еще нам энергии... При помощи самых простых средств — соприкосновения металлических поверхностей малых размеров, при помощи слабых химических реактивов возникает загадочным образом энергия... Со временем открытия всемирного тяготения и строения планетной системы не было ничего более чудесного, чем энергия, порождаемая гальванизмом».

Записка Якоби, вмешательство таких влиятельных лиц, как Канкрин, Струве и Шиллинг, произвели нужное впечатление на Уварова, и уже в июне 1837 г. он представил Николаю I доклад об изобретении Якоби, в котором придавал этому изобретению исключительно большое значение, изобразив новоизобретенный двигатель, как своеобразный регрессум mobile, никаких издержек на работу не требующий. «Открытие или, правильнее сказать, приложение новой силы, доселе еще не измеренной, но существенной в своих последствиях — электромагнетизма (писал Уваров в своем докладе), начинает обращать повсюду на себя особое внимание и любопытство. Ближайшим результатом сего приложения была бы замена паровой машины другой, более верной, менее опасной и почти никаких издержек не требующей». Доклад Уварова также оказал свое действие, и «для проверки опытов в большом виде» была ассигнована значительная по тому времени сумма в 50 000 руб., которую предполагалось выдавать частями в течение 3—4 лет. Однако сумма эта не была передана в распоряжение Якоби, но расходование ее поручалось особой комиссии, образованной «для производства опытов по приспособлению электромагнитной силы к движению машин по способу профессора Якоби». Старшим членом комиссии — председателем ее — был назначен известный моряк — адмирал Н. Ф. Крузенштерн. Другими членами комиссии были академики М. В. Остроградский, А. Я. Купфер, Э. Х. Ленц, П. Н. Фусс, полковник корпуса горных инженеров Л. Г. Соболевский, капитан корпуса корабельных инженеров С. А. Бурачек и др. Членом комиссии

был назначен и П. Л. Шиллинг, но ему в комиссии работать не пришлось, так как в августе 1837 г. он скончался.

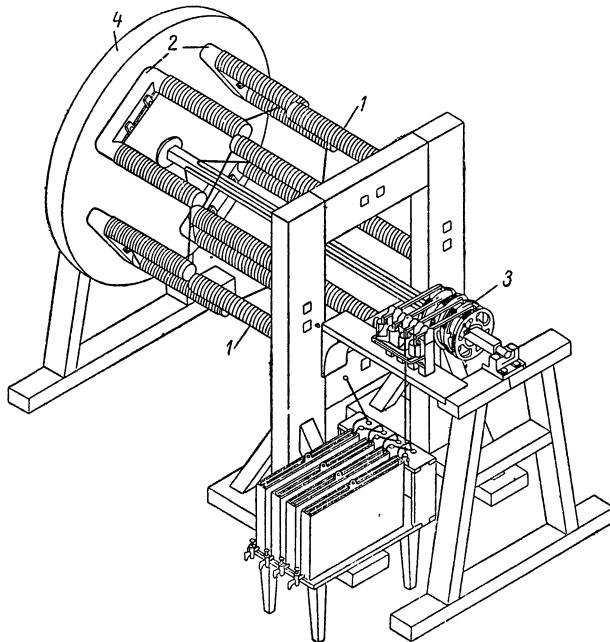
Назначение председателем комиссии моряка и введение в число ее членов специалиста по кораблестроению объяснялось тем обстоятельством, что Николай I особенно интересовался применением электродвигателя взамен парового двигателя для движения судов. В этом направлении и были им даны указания Уварову. Сам Уваров также был убежден в достоинствах этой цели. В письме председателю комиссии адмиралу Круzenштерну он писал о первой цели работ комиссии — замене паровой машины другим «удобнейшим, безопаснейшим и несравненно менее издержек требующим снарядом». Весьма вероятно, что до начала опытов и сам Якоби разделял это мнение. Лишь опыты показали, что при применении единственного известного тогда источника тока — гальванической батареи — надежды на то, что электродвигатель окажется «снарядом, гораздо менее издержек требующим», чем паровая машина, были необоснованы и, по крайней мере, преувеличены.

Комиссия начала свою работу в июле 1837 г., а в августе того же года Якоби переехал на жительство в Петербург, которого он уже не оставлял до самой смерти, работая все время в Академии наук, сначала в качестве прикомандированного, а затем адъюнкта и, наконец, в качестве члена Академии — ordinaryного академика. Одновременно он работал в разных академических и правительственные комиссиях и комитетах, всегда играя в них руководящую роль.

Наиболее характерными для Якоби являются его работы по электродвигателю, по гальванопластике, по электрическому взрыванию мин, по электромагнитному телеграфу и, наконец, работа, длившаяся много лет, по электрическим измерениям, связанная с установлением международного единства мер.

Конструкция электродвигателя, описание которой было представлено Б. С. Якоби в 1834 г. в Парижскую Академию наук (фиг. 5), принципиально отличалась от большинства конструкций, предложенных до 1834 г. другими учеными и изобретателями: в двигателе Якоби якорь имел вращательное движение, обусловленное попрерменным притяжением и отталкиванием электромагнитов. Неподвижная группа U-образных электромагнитов 1 питалась током непосредственно от гальванической батареи, причем направление тока в этих электромагнитах оставалось неизменным. Подвижная группа электромагнитов 2 была подключена к батарее через коммутатор 3, с помощью которого направление тока в каждом электромагните изменялось восемь раз за один оборот диска 4. При этом полярность электромагнитов соответственно изменялась, и каждый из подвижных элек-

тромагнитов попеременно притягивался и отталкивался соответствующим неподвижным электромагнитом, и вал двигателя начинал вращаться. Мощность этого двигателя составляла всего 15 ватт, и поэтому Якоби занялся усовершенствованием его конструкции с целью повышения мощности машины.

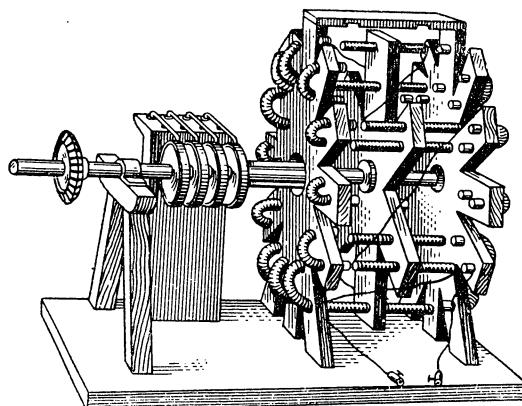


Фиг. 5. Электродвигатель Б. С. Якоби (1834 г.).

Вскоре Якоби была разработана конструкция «сдвоенного» двигателя, с 24 неподвижными U-образными электромагнитами и 12 подвижными стержневыми электромагнитами (фиг. 6). Мощность сдвоенного двигателя достигала 120 ватт, однако и этого было недостаточно, для того чтобы двигатель мог получить практическое применение. Дальнейшее подобное увеличение числа подвижных и неподвижных электромагнитов не могло привести к положительным результатам, так как размеры двигателя значительно возрастали и он не мог быть установлен на боте, полученном для проведения опытов.

В результате многочисленных расчетов и экспериментов, Якоби в 1838 г. разработал новый вариант электродвигателя, расположив неподвижные и подвижные электромагниты в одной горизонтальной плоскости. Объединение усилий нескольких подоб-

ных электродвигателей на одном общем валу увеличивало размеры двигателя только в вертикальном направлении, и поэтому двигатель мог свободно разместиться на боте. В новом варианте двигателя (фиг. 7,а) подвижная часть представляла собой крестообразно расположенные стержневые электромагниты 1, укрепленные на вертикальном валу 2; неподвижная часть состояла из двух электромагнитов 3, расположенных по окружности в виде полуколец и укреплявшихся с помощью двух латунных дуг 4. Собирая на одном валу усилия нескольких десятков подобных двигателей, Якоби мог получить значительно большие мощности.

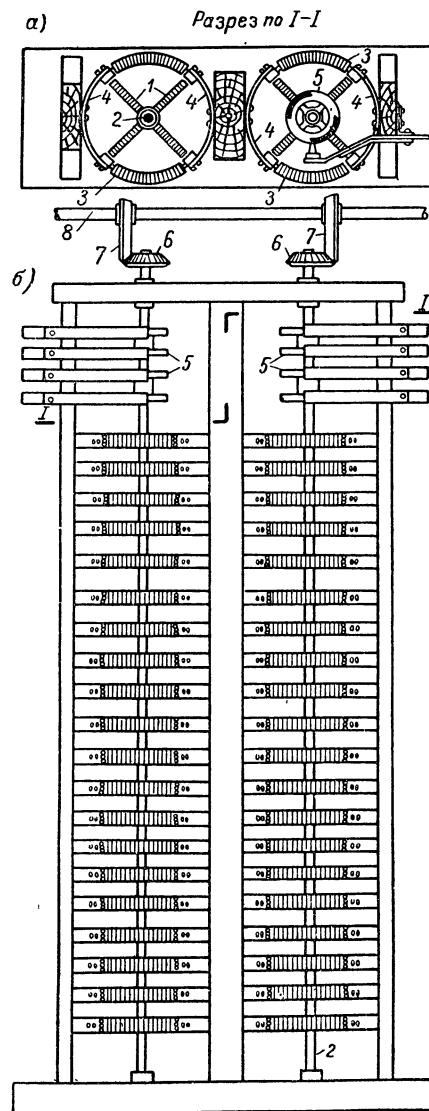


Фиг. 6. Сдвоенный электродвигатель
Б. С. Якоби.

На фиг. 7,б изображена схема* более мощного электродвигателя Якоби (около 550 ватт), состоявшего из 40 элементарных электродвигателей, который был установлен во время одного из опытов на электрическом боте. Данная схема создана на основании описания электродвигателя, помещенного в петербургской газете «Северная пчела» № 216 за 1839 г. в статье под названием «Новые успехи на поприще электромагнетических опытов и радостные надежды в будущем». Направление тока в подвижных крестообразных электромагнитах менялось посредством коммутаторов 5. Вращение вертикальных валов передавалось через конические шестерни 6 и 7 на горизонтальный вал 8, на котором помещались два гребных колеса, расположенных по бортам бота.

Первые успешные опыты с двигателем подобной конструк-

* Данная схема создана инж. С. А. Гусевым (Московский Энергетический институт).



Фиг. 7. Электродвигатель Б. С. Якоби
(1838 г.).

ции мощностью около 180 ватт ($\frac{1}{4}$ л. с., как указано в отчете об испытаниях), установленном на боте, были проведены Якоби 13 сентября 1838 г. на Неве: восмивесельная шлюпка, вмещавшая 12 пассажиров, «двигалась посредством электромаг-

нетизма» в течение нескольких часов как по течению, так и против течения. В последующих опытах мощность двигателя была увеличена приблизительно до 550 ватт или $\frac{3}{4}$ л. с. (об этом опыте и написано в газете «Северная пчела»).

Несомненно, достигнутые успехи были весьма велики и могли возбуждать дальнейшие радужные надежды. Надеждами увлекся даже Фарадей, который в письме, адресованном Якоби, в августе 1839 г. писал: «Я душевнейшим образом желаю, чтобы Ваши большие труды получили высокую награду, которую они заслуживают». Фарадею уже казалось возможным надеяться на применение электродвигателей на крупнейших в то время судах, поддерживавших сообщение между Англией, Америкой и Ост-Индией: «Какое это было бы славное дело», — пишет в своем письме Фарадей. Такое же впечатление произвели результаты опытов Якоби и на участников съезда Британской ассоциации естествоиспытателей, происходившего в Глазго в 1840 г. Сам Якоби, принимавший участие в этом съезде, докладывал съезду, что он «мог кататься по Неве часто в течение целого дня как по течению, так и против него в обществе 12—14 человек, со скоростью по меньшей мере первой паровой лодки».

«Общее внимание света,— писал Якоби из Англии,— обращено в этом деле на Россию, которая уже столь часто являла себя щедрой покровительницей и спомоществовательницей научных предприятий... От нее вправе ожидать также соответствующих успехов по части движения машин».

Но, к сожалению, дальнейших успехов по «части движения машин» не последовало. Вскоре и Якоби и другие члены комиссии убедились, что все, что можно было сделать при современном состоянии науки, ими уже сделано. Нужно было ждать дальнейших достижений в науке, которые открыли бы новые пути для устройства машин и батарей. Комиссия сама признала, что новых результатов добиться ей не удастся, и предложила временно прекратить свою деятельность «впредь до открытия какого-нибудь нового пути, могущего вести к усовершенствованию приложения электромагнитной силы к движению судов». По распоряжению Николая I в декабре 1842 г. «Комиссия для производства опытов относительно приспособления электромагнитной силы к движению машин по способу профессора Якоби» была закрыта.

В настоящее время нам понятно, в чем была главная причина неуспеха начинания Якоби, но в начале сороковых годов XIX века, при тех научных сведениях, которыми располагали тогда ученые и изобретатели, было, наоборот, непонятно, почему нельзя было применить на лодке более мощного электрического двигателя, обладавшего во многих отношениях весьма су-

щественными преимуществами перед паровыми. Эти преимущества сам Якоби характеризовал следующим образом: «В моем двигателе отсутствуют все управляющие и регулирующие механизмы, как то: клапаны, вентили, поршни, полые цилиндры и проч., которые в паровой машине так дорого стоят и так быстро изнашиваются при работе. Благодаря этой простоте стоимость двигателя уменьшается и со временем может быть доведена до $\frac{1}{4}$ стоимости паровой машины».

Но все это были надежды на будущее, осуществить же их, как нам теперь совершенно ясно, в то время было невозможно. Главной причиной этого было отсутствие достаточно легкого и достаточно экономичного генератора электрической энергии, который можно было бы установить на судне для питания двигателя. Ясно, что единственные тогда источники энергии — гальванические элементы — не могли удовлетворить предъявляемым требованиям.

Несмотря на то, что опыты с электрическим ботом Якоби не дали ожидаемых от них результатов, надо все же признать, что они впервые доказали возможность электродвижения судов. Опыты эти остались почти забытыми на протяжении нескольких десятилетий, протекших после закрытия работ комиссии по опытам с ботом Якоби, а сам бот, сданный в Адмиралтейство «для хранения впредь до востребования», так там и остался. Об опытах Якоби не вспомнили даже во время опытов, производившихся много лет спустя в Париже, где известный французский изобретатель Труве демонстрировал свою электрическую лодку. Между тем, опыты Труве были повторением опытов Якоби (батарея гальванических элементов и небольшой электродвигатель), но в гораздо меньшем масштабе. А об опытах Труве кричали газеты и журналы всего мира, помещая фотографии лодки и портреты изобретателя.

О трудах Якоби вспомнили уже гораздо позже, когда начались большие работы по электродвижению судов. Вспомнили и отдали должное Якоби, как истинному пионеру в этом деле, которому принадлежат заслуги сооружения первого судна с электродвигателем, действительно плававшего по реке в течение продолжительного времени.

Работая в комиссии по электродвижению судов, Якоби не отрывался и от других работ по электротехнике. Из них более всего известны работы по изучению химических действий тока, которые привели его к изобретению гальванопластики, доставившему Якоби всемирную славу.

Работая с гальваническим элементом Даниэля, Якоби еще в 1836 г. обратил внимание на то, что медный электрод элемента покрывается слоем меди.

При снятии этого слоя с электрода Якоби обнаружил, что на его поверхности, прилегавшей к медному электроду, в точности воспроизводятся мельчайшие царапины, углубления и шероховатости, имевшиеся на поверхности медного электрода.

Гальванопластика явилась следствием этого тщательного исследования, результатом которого было изобретение способа получения не только плотного слоя меди, прекрасно поддающегося ковке, но и способа точнейшего воспроизведения рельефа поверхности, на которой этот слой меди осаждался. «Изумительно еще то,— писал Якоби,— что на поверхности этой искусственно полученной меди повторялись с замечательной точностью все очертания и углубления, бывшие на поверхности медного электрода, как будто это был его собственный отпечаток. Я повторил опыт с гравированной медной пластинкой и через несколько дней получил на отпечатке выпуклые черточки с такой точностью, которая не могла быть достигнута никаким иным способом».

Этот доклад Якоби был представлен Уварову еще в 1837 г. задолго до опубликования, т. е. до дня, официально считаемого датой изобретения гальванопластики, именно до 8 октября 1838 года, когда в Академии наук было оглашено письмо Якоби (от 7.X.1838 г.), сопровождавшееся образцом гальванически полученной копии. Письмо Б. С. Якоби начиналось следующими словами:

«Позволю себе передать при сем искусственное гальваническое произведение, с покорнейшей просьбой соблаговолить представить его академии, как доказательство, что гальванизм не только в состоянии приводить в движение машины, но имеет также свою эстетическую, или вернее художественную сторону. Что не удалось многократным стараниям меднограверного искусства — производить рельефно вырезанные металлические доски, то сумело совершить ныне творчество природы».

Важно отметить, что Якоби пришел к выводу о возможности практического применения открытого им явления, в частности, в полиграфическом деле. Он писал:

«Я не сомневаюсь, что если бы заняться этим делом, было бы возможно производить по этому способу рельефные медные доски для тиснения, подобно тому, как печатают граверы на дереве; тут была бы и та выгода, что самые штамповальные доски возможно воспроизводить в неограниченном количестве, для чего потребовалась бы только одна гравированная модель».

Доклад, представленный Якоби, казалось, не давал никаких оснований к спорам о приоритете изобретения гальванопластики. На самом же деле вышло не так: претенденты на первенство в изобретении, конечно, за границей нашлись, и Якоби приходи-

лось доказывать свои права неоднократно. Так в 1844 г. английский изобретатель Спенсер предъявил свои, якобы, права на изобретение гальванопластики. Затем вопрос вновь возник спустя 30 лет после изобретения Якоби, во время Парижской Всемирной выставки 1867 г. На этой выставке были показаны коллекции изделий, полученных по способу Якоби, привлекшие особое внимание посетителей. Этого было достаточно, чтобы вновь разгорелся спор о приоритете, несмотря на то, что в распоряжении Якоби был ряд писем от известнейших ученых того времени, из которых можно было с точностью установить как время изобретения Якоби, так и его содержание.

Особый интерес представляет переписка Якоби с Фарадеем. Начало переписки было положено написанным Якоби в 1839 г. письмом, в котором он сообщает о своих работах по гальваническому осаждению металлов (получению вольтаических копий) и посыпает в качестве образчика полученную этим способом медную пластинку с надписью «Фарадею от Якоби с приветом». Фарадей отвечал письмом, в котором писал: «Пластинки, которые Вы мне прислали, не только весьма приятны и лестны для меня, они прекрасны сами по себе в теоретическом и практическом отношении. Все, кто бы их здесь ни видел, восхищались ими». Фарадей признал письмо Якоби настолько важным, что почти целиком напечатал его в журнале «Philosophical Magazine» под названием «О способе производства копий с награвированных медных пластинок при помощи вольтаического действия...». Аналогичную оценку работам Якоби по гальванопластике дали Гумбольдт, Грове и ряд других крупнейших ученых и изобретателей. Подобные неоспоримые доказательства лишний раз подтверждают заслуги Якоби в области практических применений электричества.

В 1840 г. в Петербурге вышел отдельным изданием труд Якоби, посвященный его работам по гальванопластике, под названием «Гальванопластика или способ по данным образцам производить медные изделия из медных растворов с помощью гальванизма».

Изобретение гальванопластики, которому ученые, современники Якоби, придавали меньше значения, чем его работам по электромагнетизму, и которое сам Якоби считал побочным изобретением, создало ему, однако, мировую славу. Русское правительство выдало ему вознаграждение в 25 000 руб., сумму по тому времени достаточно значительную. Академия наук присудила Якоби в 1839 г. за это изобретение полную Демидовскую премию в 5 000 руб. Премию эту Якоби, однако, не взял, а целиком израсходовал на работы по опытам с электродвигателем и на покупку приборов для физического кабинета Академии наук. Сам

Якоби резюмировал все прения о приоритете словами: «*Гальванопластика исключительно принадлежит России, здесь она получила свое начало и свое образование, Опубликование этого открытия дало возможность для всеобщей пользы сделать способ вполне известным и тем самым подарило его и остальнй Европе.*»

В қороткий срок гальванопластика превратилась в самостоятельную отрасль электротехники. В России и за границей создавались специальные мастерские по изготовлению электролитическим способом типографских клише, художественных произведений — медальонов, барельефов и т. п. Крупнейшее техническое объединение в России, Русское техническое общество, в год пятидесятилетия этого изобретения Якоби (1889 г.) устроило специальную юбилейную выставку гальванопластики, на которой демонстрировались в числе других экспонатов, связанных с гальванопластикой, труды, приборы и изделия Якоби.

Работа над гальванопластикой, происходившая одновременно с испытаниями электродвигателя, не мешала Якоби заниматься другими научными и техническими вопросами, в том числе вопросом об электрическом взрывании мин и вопросом об электромагнитном телеграфе. То и другое объединялось общей задачей передачи тока по проводам, находящимся в различных условиях, на более или менее значительные расстояния.

Эти работы Якоби начал еще совместно с П. Л. Шиллингом, но после его смерти (1837 г.) продолжал их и достиг замечательных результатов. Конечно и тут ему приходилось преодолевать всякого рода тяжелые препятствия, борясь с консерватизмом и предрассудками. Но, со свойственной ему настойчивостью, Якоби постепенно преодолевал все эти препятствия и сделал несколько важных изобретений, которые и были использованы в дальнейшем в области минного и телеграфного дела.

Благодаря работам Шиллинга была доказана полная возможность электрического взрывания мин на достаточно большом расстоянии с помощью хорошо изолированных проводов, проложенных в земле или в воде; был создан для воспламенения минных зарядов угольный электрический запал; была показана возможность применения в качестве одного из проводов земли или воды. В качестве источника тока Шиллинг применял усовершенствованный им вольтов столб.

После смерти Шиллинга Якоби был привлечен к работам, производившимся военно-инженерным ведомством под руководством генерала К. А. Шильдера. Одновременно к этим работам был привлечен академик Ленц и полковник корпуса горных инженеров Соболевский, уже работавшие в то время вместе с Яко-

би в «Комиссии по приложению электромагнетизма к движению машин по способу профессора Якоби».

На этой работе, впрочем как и на всех остальных. Якоби быстро проявил и свои научные знания, и умение применять их на практике. Как и Шиллинг, он рассматривал взрывную установку, т. е. источник тока, соединительные провода и запал, как единое целое, надежность действия которого зависит от каждого звена этого целого.

Наиболее ответственными звеньями установки были генератор электрического тока, провода, соединявшие генератор с минным электрическим запалом, и сам электрический запал.

Уже Шиллинг пытался усовершенствовать вольтов столб; Якоби, работавший ранее над усовершенствованием гальванических батарей для своего электрического бота, применил их и для целей взрыва мин. Его батареи давали, конечно, лучшие результаты по надежности работы и по количеству взрываемых мин, и в отношении возможности производить взрывы на больших расстояниях. Усовершенствования в устройстве батареи вводились и самим Якоби, и его сотрудниками, стремившимися приспособить конструкции батарей к условиям их работы.

Якоби предложил заменить вольтовы столбы гальваническими батареями своего устройства с платиновыми и цинковыми электродами. Подобные батареи могли обеспечить надежное действие запала на расстоянии до 200 м. Однако наибольшее преимущество своей батареи, по сравнению с вольтовым столбом, Якоби видел в том, что его батарея является более надежным источником тока, так как вольтов столб уже через несколько часов после изготовления почти терял способность давать нужный для взрывов ток, вследствие высыхания пропитываемых раствором нашатыря картонных кружков.

Так как Якоби уже освоился с взглядами Ома на причины, влияющие на значение тока в цепи, то он мог усмотреть и другое вредное влияние высыхания картонных кружков, именно повышение внутреннего сопротивления столба, препятствующее получению от него сильного тока.

В дальнейшем Якоби приспособил для взрыва мин также и медно-цинковые батареи. Он представил в комиссию «две модели улучшенной гальванической батареи, собственно для военной цели приспособленной». Одна из них составлена из платины и цинка, другая из меди и цинка с надлежащими жидкостями. «Устройство батареи сих таково,— писал Якоби,— что они всегда могут быть готовы к действию посредством простого поворота всего снаряда, так что нескольких секунд достаточно, чтобы снаряды сии изготовить для воспламенения мин». Якоби отмечал,

что в его батареях жидкости, находясь в герметически закрытых сосудах, не могут вылиться даже при сильных сотрясениях, и поэтому батареи пригодны для транспортировки. Кроме того, обеспечивается длительное хранение жидкостей вследствие невозможности их испарения, что значительно увеличивает срок службы батареи.

Из других батареи, было уделено внимание батарее, предложенной сотрудником Якоби Багратионом, повидимому, оказавшейся особо удобной при пользовании. Гальванические элементы Багратиона отличались исключительной простотой: они состояли из простого глиняного цветочного горшка с землей, смоченной раствором нашатыря, в которую были воткнуты цинковая и медная пластиинки. Элементы почти не требовали никакого ухода.

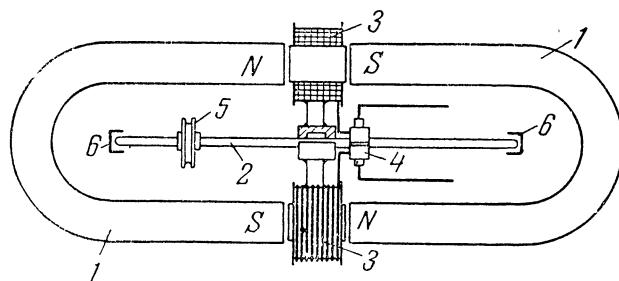
Несмотря на все усовершенствования, введенные в устройство гальванических батарей и вольтова столба, оба эти «снаряда» оставались достаточно ненадежными генераторами электрического тока для электрического взрыва мин. Поэтому Якоби сделал попытку создать новый прибор, используя явление электромагнитной индукции, незадолго перед тем открытое Фарадеем. Придуманный им прибор, получивший название *гальванического индукционного прибора*, был первой индукционной катушкой, получившей практическое применение. Известная катушка Румкорфа была создана 7 лет спустя (в 1848 г.).

Гальванический индукционный прибор состоял из железного сердечника, образованного из пучка лакированных железных проволок, окруженного двумя обмотками из медной изолированной проволоки. Проволока одной обмотки была более толстой, а другой — более тонкой. Толстая обмотка через особый ртутный прерыватель присоединялась к питающей батареи, в цепь тонкой обмотки включался угольный запал. По официальным сведениям при применении гальванического индукционного прибора и угольного запала удавалось взрывать мины на расстоянии до 10 верст (11 км). Однако наличие гальванической батареи и ртутного прерывателя делало работу всего устройства недостаточно надежной, особенно при необходимости перевозить его с места на место. На это особенно жаловались части Кавказской армии. Поэтому у Якоби явилась мысль вовсе отказаться от использования гальванических батареи, а в качестве источника тока применить магнитоэлектрическую машину, работа которой была хорошо изучена и им самим, и в сотрудничестве с Ленцем. В марте 1845 г. Якоби писал начальнику Штаба генерал-инспектору по инженерной части, что им устроена «электромагнитная батарея, которая раскаляет угольки на всяком произвольном расстоянии без воздействия кислот; она не требует издержек на содержание и во всякое время готова к употреблению. Батарея была пред-

ставлена мною в начале 1842 г.... и с тех пор она постоянно оставалась в одинаковой силе».

«Электромагнитная батарея» Якоби состояла из магнитоэлектрической машины (генератора) и «индукционного катка».

Генератор Якоби был первой в России магнитоэлектрической машиной. Он представлял собой два постоянных подковообразных магнита, обращенных друг к другу разноименными полюсами и находящихся на некотором расстоянии один от другого. Между полюсами этих магнитов могли вращаться две катушки, соединенные между собою параллельно. При этом в катушках индуктировался электрический ток. Магнитоэлектрический генератор был снабжен коммутатором из двух полуколец, на которые нажимали щетки, вследствие чего он давал во внешнюю цепь так называемый пульсирующий ток одного направления. Вращение магнитоэлектрического генератора производилось вручную посредством обычной рукоятки.



Фиг. 8. Магнитоэлектрический генератор Якоби.
1 — постоянные магниты; 2 — ось; 3 — катушки; 4 — коммутатор;
5 — шкив, 6 — подшипники.

Так как генератор должен был быть по возможности легким, то для создания магнитного поля Якоби приходилось применять небольшие слабые стальные постоянные магниты. Так как по конструкции генератора его якорь был сравнительно тихоходным, то генератор давал ток низкого напряжения. Между тем для воспламенения угольного запала требовалось напряжение не меньше 60 вольт, а лучше и большее. Для получения этого напряжения Якоби и придумал свой «каток». По существу это был тот же, ранее предложенный им «гальванический индукционный прибор», т. е. сердечник, образованный из пучка железных проволок, снабженный двумя обмотками, через одну из которых пропускался ток от магнитоэлектрического генератора, а от другой получался ток для питания запала.

В наставлении для устройства «катка» указывалось, что «Сила индуктированного тока увеличивается с числом оборотов проволоки, а для большого числа оборотов уменьшают диаметр проволоки, имея, однако, в виду, чтобы она не могла накаливаться действием индукционного тока».

«Электромагнитная батарея» Якоби представляла собой первую искровую генераторную систему зажигания высокого напряжения с индукционной катушкой.

Применение «электромагнитной батареи Якоби» позволило значительно расширить пределы действия минной обороны: согласно указаниям «Наставлений», изданным в 1851 г., при применении этой батареи по медным проводам 1,5 мм в диаметре можно было взрывать мины с угольными запалами на расстоянии 5 000 саженей (10 км), причем одновременно можно было воспламенять от 4 до 6 запалов. Это было огромным шагом вперед в минном деле.

В дальнейшем электромагнитная батарея, под названием магнитоэлектрической взрывной машинки или миновзрывателя, получила очень широкое распространение во всем мире. Следует отметить, что в России она была применена на 20 лет раньше, чем где-либо за границей; в Германии подобная машина была предложена Вернером Сименсом лишь в шестидесятых годах XIX века. Дальнейшие работы Якоби внесли еще большие улучшения в военно-минное дело.

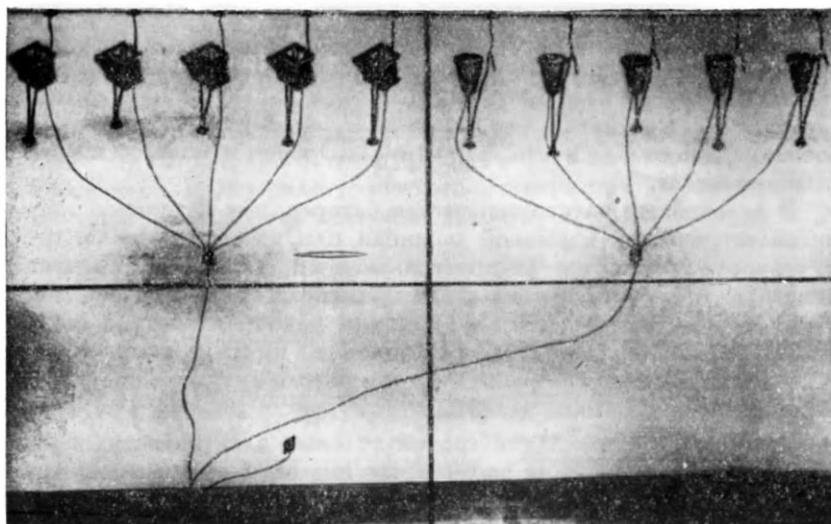
Возможность прокладки соединительных электрических проводов для воспламенения запалов как под землей, так и под водой была впервые установлена Шиллингом, но Якоби значительно усовершенствовал конструкции подземных и подводных проводов и тем сделал более надежным действие электрических минных установок.

Изолированные провода для прокладки телеграфных линий под землей, предложенные еще Шиллингом, состояли из медной жилы, снабженной двойной обмоткой: внутренней — из толстой бумажной нити и внешней — из пеньковой пряжи. По изготовлении первой обмотки провод погружался для пропитки обмотки в раствор резины в льняном масле; просущенный надлежащим образом, он покрывался второй пеньковой оболочкой и вновь пропитывался тем же раствором. После вторичной пропитки провод был готов к использованию.

Якоби, в результате целого ряда более или менее длительных опытов, внес в изготовление изолированных проводов много различных усовершенствований. В частности, он предложил в качестве пропитывающего состава применять смесь из воска, канифоли и сала, а медную жилу делать для прочности большего сечения ($2,5 \text{ mm}^2$). Но наиболее существенным усовершенствова-

нием изоляции проводов была замена каучуковой (резиновой) изоляции для подводных проводов — гуттаперчевой, обладающей значительно лучшей водоупорностью. Для проводов, не погружаемых в воду, Якоби сохранял каучуковую изоляцию, так как гуттаперча сильно изменяет свои изолирующие свойства на воздухе, особенно под действием солнечных лучей.

Для изготовления изолированных проводов были построены соответствующие машины, причем было использовано свойство



Фиг. 8а. Установка подводных мин Б. С. Якоби.

гуттаперчи размягчаться при сравнительно низкой температуре, что позволило устроить специальные прессы, при помощи которых жила заделывалась в сплошную трубчатую оболочку. Помимо таких проводов Якоби удалось взрывать мины на расстоянии более 2 км.

При изучении работы подземных и подводных проводов Якоби обратил внимание на обстоятельство, замеченное еще Шиллингом, именно на способность воды и земли служить проводниками тока. Якоби исследовал методы использования электропроводности земли и воды и затем предложил свой новый способ присоединения подводных мин к генератору тока. По схеме Якоби от генератора тока прокладывался один общий провод, к концу которого через короткие разветвляющиеся от общего

проводы проводники присоединялись мины (фиг. 8а). Обратным проводом служила вода. Второй зажим генератора присоединялся к металлическому листу достаточно большой поверхности, погружаемому в воду или землю.

Результаты опытов с подобными минами привели Якоби к мысли устроить мины, самовоспламеняющиеся при прикосновении к ним проходящего судна. Для этой цели в 1844 г. Якоби предложил снабжать как подводные, так и подземные мины изобретенным им приспособлением — «соединительным прибором», замыкающим электрическую цепь при прохождении над миной судна или проезда над ней повозки. Предложенный Якоби «соединительный прибор» был подвергнут испытаниям как с подводными, так и подземными минами и дал весьма хорошие результаты. Сохранившиеся протоколы и описания этих испытаний показывают, насколько просты и совершенны, для своего времени, были приборы Якоби. Автоматические мины стали использоваться и на суше и на море, и в дальнейшем были применены во время военных действий на Кавказе, а также во время Крымской кампании для обороны портов Балтийского и Черного морей. Во всех этих работах Якоби принимал самое активное участие.

Было констатировано, что таким новым средством обороны не обладает ни одна страна в мире, кроме России. По этому вопросу Якоби писал еще в 1847 г.: «*В иностранных государствах много делалось попыток к приложению гальванизма к военному делу. Однако производимые по их распоряжению опыты, получившие более или менее неправильное исполнение, не привели ни к какому удовлетворительному результату. Наша система подводных мин и найденные нами средства, ручавшиеся нам за действительность их, совершенно неизвестны заграничным правительствам*». Неудача заграничных правительств в стремлениях развить минное дело вызвала даже попытку со стороны Англии, обладавшей наиболее сильным флотом, признать применение подводных мин противоречащим международному праву.

К сожалению, близорукость и косность многих начальствующих лиц, в частности любимца Николая I, незадачливого главнокомандующего войсками и флотом в Севастополе князя Меньшикова, не дали возможности применить в России это новое средство обороны со всей возможной эффективностью.

Однако все же использование мин с электрическим воспламенением, неоднократно применявшееся на суше и на море, сыграло в деле обороны страны, особенно в период Крымской войны, большую роль.

Исключительное значение для развития минного дела имел изобретенный Якоби новый тип минных запалов. Единственно

существовавшие тогда угольные минные запалы, предложенные еще Шиллингом, обладая многими достоинствами, имели и недостатки, делавшие их работу мало надежной.

Якоби предложил заменить угольные запалы, посредством которых образовывался электрический разряд, воспламеняющий взрывчатый состав, запалами с платиновой проволокой, накаливаемой до высокой температуры пропускаемым через нее током.

К началу работ Якоби над этими запалами была уже известна способность электрического тока нагревать проводники, по которым проходит ток. Однако тепловое действие тока не было достаточно изучено; закон Джоуля — Ленца не был еще открыт. Якоби воспользовался тепловым действием тока для устройства своих запалов, состоявших из коротких кусков тонкой платиновой проволоки, погруженной в смесь, взрывающуюся при достаточном нагреве.

«Для воспламенения пороха,— писал Якоби,— употреблялось у нас два совершенно различных способа. Первый основан на раскаливании угольков. Второй способ, предложенный мною, основан на раскаливании весьма тонкой проволоки длиной около $\frac{1}{4}$ вершка (около 1 сантиметра)».

Для накаливания запала требовался ток 10 ампер. Первые опыты с этими запалами, произведенные в 1839 г. в Красном Селе, показали значительные их достоинства. Как констатировала Военно-учебная комиссия, при опытах в Красном Селе с употреблением улучшенного прибора, придуманного профессором Якоби, ни одного отказа взрыва не было.

Усовершенствования, предложенные Якоби, оказались настолько важными, что он получил царское распоряжение о том, чтобы изготовить для Лейб-гвардии саперного батальона образцовый снаряд, простой по своему устройству и надежный в работе, могущий действовать на первый случай на расстоянии около 150 м. При этом Якоби предлагалось: составить «меморию», в которой бы сколько возможно ясно были изложены правила для употребления таких гальванических снарядов; обозначена соразмерность величины снаряда с расстоянием, на которое предполагается произвести действие; определено сечение гальванических проводников в зависимости от параметров источника тока и расстояния, на которое нужно действовать; наконец, объяснено, каким способом лучше всего устраивать «зажигательные трубочки» (запалы).

Одновременно был организован специальный комитет для разработки надежно действующих подводных мин, воспламеняемых электрическим способом, получивший название «Комитета о подводных опытах». Членом комитета был назначен в числе других и Якоби.

Становившаяся уже достаточно широкой область применения электричества в военном деле потребовала подготовки военных специалистов для обслуживания электрических устройств. Для этой цели при Гвардейском саперном батальоне была организована учебная гальваническая команда. Научное и техническое руководство подготовкой военных специалистов было поручено инициатору этого дела — Б. С. Якоби. Участие Якоби в организации этой команды было официально оформлено причислением его к Военно-инженерному ведомству «с состоянием при штабе его императорского высочества генерал-инспектора инженеров по занятию с высочайшего разрешения приспособлением гальванизма к военному употреблению».

С этим актом причисления к Военно-инженерному ведомству было связано начало работы Якоби по подготовке для армии специалистов электриков и по созданию первой специальной военной электротехнической школы.

Организованная первоначально команда при Лейб-гвардии саперном батальоне со специальной при ней мастерской для изготовления необходимого оборудования и приборов в скором времени была укрупнена командированными в нее для обучения офицерами и рядовыми от армейских саперных батальонов.

Таким образом, 16 января 1840 г. было положено начало электротехническому образованию в России организацией первой не только в России, но и во всем мире специальной электротехнической школы, хотя вначале и не носившей этого названия, а официально называвшейся «Учебная команда при Лейб-гвардии саперном батальоне для технического обучения гальванизму и способам применения его в военном учреждении».

Для чтения лекций офицерам был приглашен Якоби. На оборудование мастерской, в которой должны были работать мастеровые-солдаты, было ассигновано 5 000 руб. серебром. На изготовление пластин для батарей и проволоки для запалов было выдано 10 фунтов (4 кг) платины. Руководство изготовлением гальванических приборов было поручено также Якоби.

Офицеры, окончившие обучение в учебной команде, распределялись затем по армейским саперным бригадам, где организовывались местные учебные команды. Каждая такая команда снабжалась вольтовым столбом из 200 пар пластин, 1 000 саженями (2 км) изолированных проводов, нашатырем и инструментами, всего на сумму 800 руб. серебром.

Сначала срок обучения в команде составлял около года, в дальнейшем он был увеличен до двух лет. С 1847 г. состав учебной команды был пополнен за счет создания специальной «морской» гальванической команды в составе 2 офицеров и

10 матросов. Обучение этого состава было также поручено Якоби.

В 1856 г. учебная команда была преобразована в Техническое гальваническое заведение с учебной ротой при нем. Задачами этого заведения были: 1) исследование, развитие и усовершенствование всех приложений гальванизма к инженерному искусству, 2) обучение офицеров гальванизму и техническому применению его к военному делу, 3) подготовка солдат-гальванеров, 4) изготовление и содержание запаса гальванических принадлежностей и 5) снабжение гальваническими принадлежностями гальванических команд и парков.

Положение о Техническом гальваническом заведении было утверждено в марте 1857 г.

Это Техническое гальваническое заведение, равно как и образованный несколько позже Офицерский минный класс в Кронштадте, сыграли весьма большую роль в развитии электротехники в России. Это были единственные в то время в России рассадники сколько-нибудь сведущих в электротехнике специалистов. Техническое гальваническое заведение было позднее преобразовано в Офицерскую электротехническую школу, выпускавшую военных инженеров-электриков, а затем, уже при советской власти в Высшую советскую электротехническую школу комсостава РККА. В 1921 г. на базе этой Школы была создана Военная электротехническая академия.

После смерти Шиллинга Якоби продолжил начатые им работы не только по электрическому воспламенению мин, но и по электромагнитной телеграфии. В минном деле, как мы видели, Якоби достиг весьма значительных результатов. Успех его в области телеграфии был не меньшим. Ему удалось не только ввести важнейшие усовершенствования в устройство телеграфных аппаратов, но также значительно улучшить устройство телеграфных линий. В этом деле Якоби помогали сведения, полученные им при работах по установкам для электрического взрывания мин, где ему приходилось изготавливать изолированные провода, прокладывать и использовать подземные и подводные линии.

Якоби всесторонне изучил различные способы использования электрического тока для целей связи. В одном из своих сообщений в заседании Академии наук он предлагал воспользоваться физиологическим действием тока и построить соответствующий телеграфный аппарат.

Якоби также интересовался и идеей устройства телеграфа, основанного на химических действиях тока. В том же сообщении Академии наук, докладывая о попытках электрохимической телеграфии, Якоби говорит: «Я отнюдь не сомневаюсь в том, что если посвятить этому предмету серьезное внимание, можно бы-

ло бы найти другие реакции и устроить весьма совершенные и несложные электрохимические телеграфы». В своем предсказании Якоби оказался прав: правда, только почти через столетие были осуществлены подобные сношения — фототелеграммы, но для этого потребовался ряд огромных достижений в других областях знаний.

Из всех предлагавшихся тогда типов телографных устройств Якоби остановился на том же, который разрабатывал и Шиллинг, т. е. на электромагнитном телеграфе. Он начал с усовершенствования самих телографных аппаратов. Аппараты, предложенные Шиллингом, несмотря на то, что они были лучшими в его время, обладали многими недостатками и представляли большие затруднения при пользовании ими.* Особенно чувствительным недостатком их была медленная передача и медленный прием сигналов. Приборы, предложенные Якоби, были или совсем лишены указанных недостатков или, во всяком случае, эти недостатки гораздо меньше в них ощущались. Скорость передачи и приема сигналов была значительно увеличена.

Телографные аппараты, предлагавшиеся и испытывавшиеся Якоби, отличались весьма большим разнообразием. Из них представлял большой интерес аппарат, в котором передаваемые сигналы записывались на ленте в виде неровной непрерывной линии с зигзагами разного вида, соответствовавшими различным буквам алфавита. Аппарат этот работал на линии Петергоф — Царское село (длиной 25 км). Однако Якоби не был доволен работой этого аппарата и к 1845 г. создал новый тип аппарата с клавиатурой и синхронным движением. «Аппараты Якоби,— говорил в своем докладе в Академии наук СССР в 1949 г. профессор Пащенцев,— явились громадным достижением техники. Они положили основу для построения синхронных телографных аппаратов, в которых впервые были введены элементы автоматики и телемеханики для больших рабочих процессов. Аппарат Сименса полностью представляет конструкцию горизонтального стрелочного аппарата Якоби».

К сожалению, в целях сохранения тайны, Якоби не всегда разрешалось опубликовывать его изобретения. Попытка его поместить описания приборов в издания Академии наук не увенчалась успехом. Отделение физико-математических наук получило по этому вопросу специальное распоряжение вице-президента Академии наук, который, узнав о желании академика Якоби поместить в Записках Академии наук статью о работах в области электротелеграфии, подчеркивал, что «Его величеству угодно было, чтобы об электротелографных и электротелеграфических занятиях не было печатаемо».

* См. очерк о Шиллинге в настоящей книге.

Однако стремление сохранить в тайне результаты «электротелеграфических занятий» Якоби не увенчались успехом. Некоторые сведения о работах Якоби проникли за границу и были использованы беззастенчивыми конкурентами. Сам Якоби сообщил об этом Собранию Академии наук в Петербурге 9 сентября 1859 г. Якоби сказал: «два синхронных аппарата изобретены были мною в 1845 г. и представлены Физико-математическому классу в заседании 7 марта 1845 г. По моему заказу было изготовлено много и других приборов, из которых некоторые служили еще в том же 1845 г. во время маневров при осаде Нарвы. По окончании этих маневров, на которых я присутствовал, по моему ходатайству мне разрешен был заграничный отпуск. Между прочим, я посетил моих давнишних друзей в Берлине. Одному из них я показал эскиз моего нового аппарата, объяснил ему действие прибора и просил никому не рассказывать об этом до тех пор, когда я сам издаю его описание. В момент моего ухода вошел Сименс. Мой рисунок оставался на столе. Я передаю лишь факты, не обвиняя никого в plagiatе. Известно, что телеграф с синхронным движением составил славу и богатство Сименсу. В протоколах же Академии имеется высочайшее повеление, коим запрещено распубликование описания моих телеграфных приборов. Теперь было бы легко исправить, может быть, ошибочный взгляд, давший повод к этому воспрещению. Но, если бы мне теперь предложили сделать это опубликование, то я, к сожалению, мог бы только сказать: слишком поздно». Действительно, уже было поздно. Аппарат с синхронным движением был уже запатентован Сименсом и получил распространение под его именем.

Можно привести много фактов о попытках присвоения за границей русских изобретений. Так «агометр» того же Якоби был вторично «изобретен» и притом в менее удобном виде Уитстоном. Почти 40 лет спустя дуговая дифференциальная лампа Чиколова, описание которой было уже опубликовано на французском языке, была «переизобретена» Шуккертом, оправдывавшимся тем, что он не знаком с французским языком. Были и другие подобные случаи. Отличались они все одним общим признаком: о русских изобретателях забывали. Русские изобретатели по тем или иным причинам не находили нужным отстаивать свои права судебным порядком, как это делали иностранные изобретатели. Не создавалось громких процессов, и постепенно русские имена истинных изобретателей забывались, а лавры их изобретений пожинались более предприимчивыми иностранными конкурентами.

Насколько упорно игнорировались в некоторых зарубежных странах достижения наших ученых и изобретателей, можно

судить хотя бы по следующему факту. В 1946 г. в одном из весьма распространенных американских электротехнических журналов была помещена статья под заглавием «Великие люди в электротехнике» (Great men of Electrical Engineering). В статье говорится о десятках великих людей, но характерно, то, что в ней не упомянуто ни одного русского имени, хотя статья охватывала период от Гильберта (1580 г.) до 1946 г. Вернее одно русское имя было упомянуто, но имя русского географа, который уже много десятков лет живет в США и всю свою научную и техническую деятельность сосредоточил в американских электрических фирмах. В списке нет ни Ломоносова, ни Рихмана, ни более поздних изобретателей — Яблочкива, Лодыгина, Славянова, Бенардоса; ничего не говорится о Попове. Но зато в список вошли имена Сименса, Вестингауза, Белла и Маркони.

Изобретательство Якоби в области электротелеграфных приборов было очень велико и разнообразно. Между прочим, им был изобретен и первый буквопечатающий аппарат — прототип буквопечатающего аппарата Юза, получившего впоследствии столь широкое распространение.

Якоби, как и его предшественник Шиллинг, уделял большое внимание не только телеграфным аппаратам, но и электрической связи между посылающими и приемными аппаратами, т. е. устройству телеграфных линий.

Как и Шиллинг, он сначала увлекся идеей создания провода с такой изоляцией, которая позволяла бы помещать провод или в землю или даже в воду, не боясь утечки тока. Работы над взрыванием подземных и подводных мин дали Якоби много материалов для выяснения различных причин недостатков изоляции проводов. Эти причины и подвергались им глубокому теоретическому и экспериментальному изучению, в результате чего предлагаемые им конструкции изолированных проводов непрерывно улучшались.

Сохранился образец подземного провода, проложенного Якоби для устройства телеграфа вдоль линии железной дороги Петербург — Москва. Этот провод оказался неудовлетворительным, и Якоби вернулся к идее Шиллинга — отказаться от подземного кабеля и перейти к прокладке телеграфной линии по воздуху, укрепляя провода посредством специальных изоляторов на деревянных столбах по трассе линии. Однако, как и во времена Шиллинга, Якоби было отказано в разрешении построить такую линию. Устройство телеграфа между Москвой и Петербургом было поручено иностранной фирме (Сименс). Но и эта фирма не справилась с задачей устройства подземной телеграфной линии и исходила из того, что разрешение устроить воздушную линию, как это в свое время предлагали Шиллинг и Якоби. Что

не было разрешено нашим изобретателям, было разрешено иностранной фирме, и между Москвой и Петербургом была построена первая в мире воздушная телеграфная линия. В дальнейшем, вплоть до настоящего времени, применяются почти исключительно такие линии. К подземным линиям прибегают только в особых случаях; когда линии телеграфной связи надо защищать от влияния других линий, например, от влияния проводов электрифицированных на переменном токе железных дорог или проводов высоковольтных линий электропередач в случаях, если эти провода на большом протяжении идут вблизи и вдоль телеграфных линий.

Несколько лет спустя Якоби, вспоминая об этом периоде своей деятельности, писал: «После моего формального отказа заниматься далее подземными проводами, устройство такой линии вдоль Николаевской железной дороги в Москву (так называлась дорога между Петербургом и Москвой.—М. Ш.) было вверено иностранцу. Известно, что эта (подземная) линия не просуществовала и двух лет и что она заменена воздушной линией. Не подлежит сомнению, что если бы я причинил казне такого рода бесполезные издерожки, достигавшие от 200 до 300 тысяч рублей, то мое положение было бы сильно скомпрометировано, тем более, если бы я имел неосторожность принять на себя какую-нибудь ответственность в успехе, доверившись появлявшимся с упорством за границей сообщениям относительно высокой степени совершенства этих проводников. Но более странно, что несмотря на мои предупреждения к постройке подземной линии в Москву приступили уже тогда, когда в Пруссии такие линии на опыте дали настолько неблагоприятные результаты, что решено было отступиться от этой мысли. Утешение находили, правда, в обвинении единственно мышей, доведших эту линию до плачевного состояния. При этом, вероятно, предполагали, что эта порода грызунов, портившая не только гутта-перчевую изолировку, но и самую медную проволоку, или вовсе не существует в России или имеет здесь другие занятия».

Якоби все же удалось осуществить в России и подземную телеграфную линию, вероятно, самую длинную из существовавших в то время — телеграфную линию между Петербургом и Петергофом; задуманная еще Шиллингом она была закончена и приведена в действие Якоби к 1840 г.

Анализируя все имеющиеся сведения об электромагнитном телеграфе, мы с несомненностью убеждаемся в том, что нашими учеными Шиллингом и Якоби и нашими военными и гражданскими специалистами были проведены весьма важные работы в этой отрасли электротехники — как теоретические, так и экспериментальные и эксплуатационные.

Несмотря на исключительные трудности, происходившие от весьма разнообразных причин технического, экономического и часто совершенно специального характера, в России были задуманы и осуществлены первые электротелеграфные установки, а также были изобретены и осуществлены все части оборудования этих установок.

Якоби принимал в них самое деятельное участие, не оставляя и других своих работ, в большинстве случаев связанных с электротехникой. Из них весьма большое значение имеют работы, относящиеся к электрическим и отчасти магнитным измерениям. Когда Якоби начинал эти работы, учение об электрическом токе едва создавалось; целый ряд явлений, связанных с прохождением тока по проводникам, был только что открыт. О количественном определении этих явлений почти еще и не думали, а если и думали, то только для совершенно определенных отдельных случаев. Построенные первые гальванометры (мультиплексор и буссоли), основанные на действии тока на магнитную стрелку, были скорее указательными, чем измерительными, в современном смысле этого слова, приборами. Самые основные понятия, например такие как «сила тока», «напряжение» и т. п., не были еще не только определены, но даже и не были прочно установлены. В терминологии наблюдалась исключительная неразбериха: одним и тем же именем называли совершенно различные величины; каждый автор устанавливал свою собственную терминологию. Об определенных, общепринятых единицах измерений не было даже и речи. В связи с этим и открывавшиеся законы для электрического тока получали такой вид, что сущность их можно было понимать весьма различно. Из-за этого, между прочим, в течение многих лет не был понят и достойно оценен такой закон, как закон Ома.

Вопросами упорядочения и уточнения электрических измерений занимались многие выдающиеся деятели электротехники — Фарадей, Ленц, Якоби и другие.

В течение 1820—1830 гг. электрические измерения производились главным образом при помощи мультиплексоров, получивших более распространенное название гальванометров. Делались неоднократные попытки характеризовать электрические величины количественно, например, характеризовать ток углом отклонения магнитной стрелки в гальванометре, но эти попытки в общем не давали желаемых результатов, так как одна и та же величина тока отклоняла магнитную стрелку гальванометра на различные углы, в зависимости от конструкции гальванометра, формы катушек и числа витков в катушке и т. п.

Впервые количественно характеризовать величину тока в проводнике предложил Фарадей, но его способ давал возможность

определять только количество электричества, прошедшее по проводнику за определенное время, а не значение тока в проводнике в каждый момент времени, что было необходимо для большинства случаев. Фарадей измерял количество электричества по количеству газов, выделявшихся при разложении воды проходящим током, и попытался дать определение единицы электрического тока, предложив ввести понятие «градус электричества». Этим термином он называл сотую долю кубического дюйма выделяющихся при электролизе газов.

Прибор, предназначенный для измерения количества выделяющихся газов, Фарадей назвал «вольтаэлектрометром» или «вольтаметром» и считал, что «этот прибор представляет собой единственный действительный измеритель гальванического электричества».

Исходя из убеждения о тождественности всех видов электричества, Якоби и воспользовался вольтаметром Фарадея для градуировки стрелочного гальванометра на определенные единицы тока и тем положил начало изготовлению градуированных электрических измерительных приборов. Это была очень трудоемкая работа, длившаяся многие годы, начиная с 1837 г. Трудно даже себе представить, как мог Якоби найти время и силы, чтобы выполнить ее, работая одновременно и над другими вопросами (электродвижение, гальванопластика, электрические мины, электромагнитный телеграф). Но и в области метрологии, особенно электрической, работы Якоби проложили новые пути и, можно без преувеличения сказать, положили начало международному движению за принятие единых для всего мира единиц измерений.

Точным измерениям Якоби придавал всегда особое значение. «*Искусство измерения*, — говорил он в своем докладе Петербургской Академии наук, — является *могущественнейшим оружием, созданным человеческим разумом для проникновения в законы природы и подчинения ее нашему господству... Ни одной точной науки, ни одной прикладной науки, ни одного опыта без измерений! Новые средства измерения знаменуют собой настоящий прогресс!*»

Эти новые средства измерения и не только для научных, но и для технических целей и искал Якоби. В период полного расцвета своей научной деятельности (в 1859 г.) он писал: «В течение моей научной более чем четверть века продолжавшейся карьеры, заполненной не только научными исследованиями в области электричества и магнетизма, но и в меньшей мере и полезными приложениями этих замечательных сил, приложениями изо дня в день становящимися более обширными, к применению которых мы дали толчок, я имел часто случай говорить себе, что

я мог бы сделать гораздо больше, если бы я мог располагать средствами измерения вроде тех, которые я (теперь) предлагаю. Нет никого, кто работал бы на том же поприще, в целях науки или в целях практического применения, кто не был бы вынужден сделать себе такое же признание».

Характерной особенностью всех работ Якоби, в том числе и работ в области электрических измерений, была их целесустримленность, направленная к использованию этих работ для практических целей.

Всякий интересовавший его вопрос Якоби рассматривал и с научной, и с технической, и с экономической точек зрения. Так было и с гальванопластикой, и с электродвигателем, и с рядом других работ, в частности работ по электрическим измерениям.

Сообщая еще в 1834 г. Парижской Академии наук о своих работах с электродвигателями, он подчеркивает, что в своем двигателе он осуществляет применение в механике новой силы.

Этот, так сказать, практический подход можно ясно видеть во многих работах Якоби, в том числе, и в работах его по электрическим измерениям.

Якоби начал эти работы, почувствовав необходимость в электрических измерениях при своих исследованиях в области электромагнитных машин и гальванопластики. К тому времени были уже известны некоторые типы буссолей,* мультипликаторов и гальванометров с подвижными магнитами, была разработана начальная теория гальванометров, на основании которой были построены синус-гальванометры (Пуллье) и тангенс-гальванометры (Нервандера и др.). ** Эти приборы исследователи пытались применять для измерения тока, но при разнообразии типов, размеров и конструкций результаты измерений с помощью разных гальванометров оказывались несравнимыми. Постоянные гальванометра, т. е. коэффициенты, связывающие величину тока, проходящего через обмотку гальванометра, с величиной угла отклонения подвижного магнита (или синуса или тангенса этого угла), могли теоретически вычисляться только для совершенно определенных конструкций гальванометров, да и то с большим приближением, так как для этого требовалось точное знание горизонтальной составляющей силы земного магнетизма в месте расположения гальванометра, но эту величину точно определить было трудно, а часто и невозможно.

* Название «буссоль» произошло от искаженного арабского слова «поусела», что значит «стрела».

** Нервандер — профессор физики в Гельсингфорском университете, построивший гальванометр, которым широко пользовались русские физики Якоби, Ленц и в дальнейшем Петрушевский.

Однако, как уже указывалось, было известно одно явление, для которого был установлен закон, количественно связывающий количество электричества, проходящее через электролит, с результатом действия тока — явление электролиза. Уже Фарадей пытался пользоваться им и для измерения тока, но, кроме того, что этот способ измерения был крайне неудобен для практического использования, его применения вызывали ряд недоразумений, связанных с незнанием или неправильным пониманием законов, управляющих электрическим током в цепях.

Явление электролиза для определения количества электричества Фарадей предложил применять еще в 1834 г., после того, как он установил основной закон электролиза, сформулированный им так: «Химическое действие электрического тока прямо пропорционально абсолютному количеству проходящего электричества (783)».*

«На основе этого закона,— пишет Фарадей (705),— я решил построить прибор для измерения проходящего через него электричества, чтобы он, будучи включен в цепь тока при любом частном опыте, служил по желанию либо для сравнительной оценки действия, либо для положительного измерения этого тончайшего агента».

«Нет вещества,— говорит дальше Фарадей (706, 732),— которое при обычных условиях было бы более пригодно в качестве индикатора в таком приборе, чем вода... я считаю, что предыдущее исследование в достаточной степени доказывает чрезвычайно важный принцип в отношении воды, а именно, что количество воды, разложенной под влиянием электрического тока, в точности пропорционально прошедшему количеству электричества».

Как уже указывалось, Фарадеем был предложен прибор для измерения количества электричества — вольтаметр. Этот прибор давал возможность измерять количество электричества, прошедшее по какой-либо цепи в определенный промежуток времени, но не давал никаких указаний о величине тока в различные моменты времени. Пользуясь современной терминологией, мы можем сказать, что это был «счетчик количества электричества», а не «амперметр». Между тем практика требовала прибор, которым можно было бы измерять в определенных единицах именно величину тока в любой момент времени. За решение этой задачи и взялся Якоби.

Основной деятельностью его в области электрических измерений была работа, имевшая целью внести определенность в из-

* См. Михаил Фарадей, Экспериментальные исследования по электричеству, перевод под ред. Т. П. Кравца, изд. АН СССР, 1947, т. I, серия VII. Цифры в скобках относятся к параграфам книги. Все цитаты взяты из русского перевода.

мерения и установить зависимость между величиной тока, определяемой посредством электролиза, и отклонением магнитной стрелки гальванометра, включенного последовательно с прибором, в котором происходит электролиз. Говоря современным языком, Якоби сделал первую попытку градуировать гальванометр при помощи вольтаметра и этим он установил как понятие о градуированном на величину тока гальванометре, так и метод градуировки, получивший в дальнейшем широкое применение. Интересны рассуждения Якоби, приведшие его к установлению этого метода:

«Пусть,— пишет Якоби,— i и i_1 будут силами токов, выражеными в электрических единицах $\varphi(\cdot)$ и $\varphi(\alpha)$, силы, которые вызывают отклонения стрелки от положения равновесия. Эти силы пропорциональны определенной функции углов отклонения α и α_1 ; тогда

$$i:i_1 = \varphi(\alpha):\varphi(\alpha_1)$$

или

$$i = \frac{i_1}{\varphi(\alpha)} \cdot \varphi(\alpha_1) = k\varphi(\alpha_1),$$

где k — постоянный коэффициент, равный $\frac{i}{\varphi(\alpha)}$ и определяемый опытом...

Если закон для какого-либо гальванометра выводится теоретически, то электрохимические разложения служат нам для проверки этого закона, и этот гальванометр становится драгоценным инструментом, совершенно необходимым при всех исследованиях, касающихся закона электролиза. Подобный прибор, проверенный на всем протяжении показаний, получает значение нормального прибора, с которым будут весьма легко сравниваться другие гальванометры любой конструкции, для которых требуется установить закон эмпирически. Для этой цели надо только включать гальванометр в одну цепь с нормальным прибором и пропускать через эту цепь токи различной силы, регулируемые арометром, и отметить отклонения стрелок, соответствующие известным силам токов, определяемым нормальным прибором».

В своем мемуаре «О химических и магнитных гальванометрах», помещенном в 1839 г. в Научном бюллетене Академии наук, Якоби указывает, что он включал буссолю и вольтаметр последовательно в одну цепь, наблюдая отклонение стрелки буссоли и измеряя объем выделяющегося при электролизе гремучего газа (впоследствии Якоби характеризовал ток количеством выделяемого при электролизе водорода).

Из сопоставления целого ряда данных, сведенных в многочисленные таблицы, Якоби приходит к заключению, что «разложение воды пропорционально измеренной посредством магнитного гальванометра силе тока». Отсюда Якоби выводит — «мы

можем с уверенностью применять закон, что магнитные и химические действия тока строго пропорциональны друг другу и что мы можем применять с одинаковым правом для измерения силы тока и магнитные гальванометры и водоразлагающие аппараты».

Якоби произвел длинный ряд проверочных опытов, заменил вольтова столб различными гальваническими элементами и даже магнитоэлектрической машиной, так как в то время не было еще общепринято, что во всех этих случаях мы имеем дело с одним и тем же «электричеством», а не с различными «электричествами» — статическим («обыкновенным», как его называл Фарадей), гальваническим, магнитным и др. Точно так же вместо тангенс-гальванометра Нервандера он брал другие гальванометры, в том числе синус-гальванометр Пуллье. В результате Якоби пришел к заключению, что вывод его справедлив для всяких электроизмерительных приборов, основанных на принципе взаимодействия токов и магнитов.

Продолжая свои опыты над приборами, пригодными для измерения токов, Якоби от магнитных гальванометров перешел к изучению только что предложенных Вебером электродинамометров (бифилярных и пружинных). Этим приборам Вебера Якоби отдавал даже предпочтение перед гальванометрами. Интересно заметить, что тут Якоби вступил в пререкание с самим изобретателем электродинамометра Вебером, который был склонен предпочесть для этих измерений магнитный гальванометр.

Как известно, практика показала необходимость применения обоих типов гальванометров — «магнитных» и «электродинамических» — и установила случаи, когда одни из них имеют преимущество перед другими.

Следует отметить, что Вебер, так же как Якоби и Фарадей, признавал основным способом измерения тока способ измерения посредством электрохимического вольтаметра. Якоби, проделав ряд опытов с различными электролитами и различными электродами, в том числе с раствором азотнокислого серебра и с платиновыми электродами, еще больше укрепился в этом убеждении.

На основании своих работ Якоби пришел к убеждению о совершенной необходимости установления единой для всех стран единицы тока, считая, что эта единица должна определяться по электролитическому действию тока. Уже в 1847 г. он пишет Поггендорфу: «Насколько было бы интересным и важным, если бы физики в своих гальванических исследованиях пользовались бы для измерений электролитической мерой. Для этого нужно было бы (только), чтобы буссоли были приведены к электролитическим мерам». Еще определенное Якоби высказывается по этому вопросу в своем докладе Парижской Академии наук в 1851 г.

В обширном докладе, сделанном в Петербургской Академии наук в 1857 г., Якоби идет еще дальше. В этом докладе, помещенном в Бюллетенях Физико-математического отделения Академии наук за 1858 г., под заглавием «О необходимости выражать силу электрических токов и сопротивлений в общепринятых единицах». Якоби говорит: «*Если сила тока измерена посредством электрохимического разложения азотнокислого серебра или посредством разложения другого какого-нибудь вещества, то нет ничего легче, как привести полученные результаты к произвольной мере, которую мы пожелаем принять в качестве нормальной единицы... Какова бы ни была эта произвольная единица, желательно, чтобы она была установлена с общего согласия и поддержанна авторитетом ученых корпораций, чтобы в это дело не вмешивалось бы ни национальное самолюбие и себялюбие отдельных лиц, чтобы не было бы отдельной электрической единицы русской, французской, английской или, по образцу термометрических шкал, единицы Вебера, Пульье, Якоби и др.*»

В этих строках ясно видно то глубокое убеждение Якоби относительно необходимости установления международных единиц измерений, которое он с таким упорством отстаивал при обсуждении вопроса об организации международной службы мер и весов.

В качестве единицы силы тока Якоби предложил принять силу тока, при которой в 1 минуту из разлагаемой, между платиновыми электродами воды, выделяется 1 кубический сантиметр гремучего газа (приведенного к нормальному давлению при температуре 0°). В дальнейшем он предложил определять эту единицу по количеству выделенного водорода.

Впоследствии Якоби остановился на определении единицы тока по количеству выделенного серебра из раствора азотнокислого серебра, т. е. на том способе определения этой единицы, который был установлен в 1893 г. на Международном электротехническом конгрессе в Чикаго и который был принят во всем мире, действуя в качестве стандартного вплоть до 1948 г., когда была введена система «абсолютных практических единиц».

Из всего приведенного выше материала явствует, что установление первой единицы тока, предложенной для всеобщего применения, принадлежит Б. С. Якоби. К этому нужно прибавить, что способ, предложенный для осуществления этой единицы, был настолько совершенен, что, он, спустя почти полвека, был вновь предложен для всеобщего пользования уже Международным конгрессом и оставался стандартным еще в течение полувека, пока прогресс в технике электрических измерений не позволил заменить его другим, более совершенным.

Б. С. Якоби принадлежит заслуга в деле введения в жизнь приборов с градуированной шкалой, в частности амперметров, так как предложенный им стрелочный гальванометр с лимбом, т. е. со шкалой, градуированной не на градусы, а на единицы тока, и есть тот прибор, который впоследствии получил название амперметра.

Работы академика Якоби по электрическим измерениям не ограничивались работами над вопросом об измерении токов. Ему же принадлежит и ряд других исследований, в частности касающихся измерений электрических сопротивлений проводников. Эти его работы имеют не меньшее значение, чем работы по измерению токов. Они привели Якоби к сознанию о необходимости установления определенной, общепринятой единицы сопротивления и к осуществлению эталона этой единицы. Единица Якоби и эталон ее имели долгое время среди физиков Европы весьма значительное распространение.

Нельзя точно установить, когда Якоби начал специально заниматься вопросом об измерении сопротивлений проводников. Вероятнее всего, что он начал с разработки приборов, которые он называл «регуляторами» и которые служили ему для поддержания постоянства величины тока в цепи. Устраивал он эти регуляторы и «с жидким сопротивлением», и «с твердым сопротивлением». Работая с ними, Якоби и пришел к мысли использовать их не только для регулировки тока, но и для измерений сопротивления проводов.

Основу предложенного им метода измерения сопротивлений Якоби излагает так: «*Будем придерживаться простого и очевидного факта, что два провода имеют одинаковое сопротивление, если, при их поочередном введении в одну и ту же цепь, сила тока никоим образом не изменяется.*» Отсюда и метод измерения посредством замены измеряемого сопротивления другим известным сопротивлением, которое может быть плавно изменяется. На этом принципе и был построен Якоби прибор, получивший широкую известность под именем «*Агометра Якоби*», показанный им впервые в заседании Петербургской Академии наук 24 апреля (ст. стиля) 1840 г.

Агометр Якоби в основном состоял из мраморного цилиндра, на котором была навита винтом нейзильберовая проволока. На проволоку опирался контакт в виде колесика, которое при вращении мраморного цилиндра перемещалось вдоль оси цилиндра. Агометр включался в цепь с помощью двух зажимов, один из которых находился на конце навитой проволоки, а другой — на подвижном контакте. При вращении цилиндра, таким образом, в цепь вводилось большее или меньшее число витков проволоки, намотанной на мраморный цилиндр. Этим числом и можно было

определять введенное в цепь сопротивление. Как видно, агометр Якоби был прототипом целого ряда реостатов, изготавливавшихся различными конструкторами в течение многих лет. Еще недавно в физических лабораториях был очень распространен прибор для измерения сопротивления жидкостей, снабженный реостатом, совершенно подобным предложенному Якоби. Почти одновременно с Якоби, но несколько позже него, такие же приборы под называнием «реостата» и «реохорда» были предложены Уитстоном и Поггендорфом. Но оба они в употреблении оказались менее удобными, чем агометр Якоби.

В том что агометр Якоби был изобретен раньше реостата Уитстона, мог убедиться сам Уитстон во время свидания с Якоби при проезде последнего через Лондон. Якоби с юмором описывает это свидание в письме к своей жене, сохранившемся в архиве Академии наук. «Уитстон меня очень заинтересовал... Он знает теорию Ома и вычисляет по ней, но, по-моему, неправильно. После того, как он показал мне массу практических вещей, он дошел, наконец, до своего новейшего прибора, относительно которого он утверждает, что это вершина достижения и что при его помощи можно с величайшою легкостью разрешить все реометрические вопросы. В конце концов он вытащил прибор, но с условием, что я не сделаю ничего виденного достоянием гласности. Я, конечно, полон нетерпения. Шкаф открывается, и, о сюрприз! появляется мой регулятор тока.* Какое-то наитие заставило меня взять с собою оттиск описания моего прибора и случайно сунуть его в карман. М-р Уитстон был немало смущен, когда я показал ему чертеж... В общем Уитстон очень талантливая голова, которая, однако, еще нуждается в известной школе, прежде чем он сможет себе позволить входить в тонкости реометрии».

Работая именно над «тонкостями реометрии», Якоби постепенно вводил в свой агометр ряд улучшений. Борясь особенно с изменчивостью сопротивления контакта между катящимся колесиком и проволокой, навитой на мраморном цилиндре, Якоби перешел к ртутному контакту и затем сконструировал чисто ртутный реостат.

При работах со своими агометрами или, как он их называл иногда, «вольтагометрами», Якоби выяснил ряд обстоятельств, которыми обусловливается точность измерений, например: необходимость учитывать температуру; применять для измерений возможно слабые токи, во избежание нагревания проводников; учитывать появляющиеся термоэлектрические электродвижущие силы и ряд других.

* Агометр.

Агометры Якоби были в свое время наиболее совершенными приборами этого рода и высоко ценились также и за пределами России. Вот, что, например, сказано об агометре Якоби в весьма распространенном в конце прошлого столетия курсе электричества Маскара и Жубера: «Реостат Якоби представляет преимущество перед Поггендорфским... В нем избегается деформация проволоки, и точка контакта определяется более точно».

Работая над методом определения сопротивлений, Якоби исследовал одновременно и качества известных тогда гальванометров, влияние на их показания земного магнитного поля, а также изучал некоторые другие методы измерения сопротивлений, например метод дифференциального гальванометра, для которого он разработал оригинальную дифференциальную буссоль. Всем изученным им методам измерения сопротивлений Якоби давал критическую оценку. В числе разработанных им методов был один метод, аналогичный мостовой схеме.

Характерно, что свои методы измерений Якоби применял и для чисто практических целей в условиях, сильно отличавшихся от лабораторных, например, для измерения сопротивлений воздушных и подземных проводников строившихся им телеграфных линий.

Работами Якоби вопрос измерения сопротивлений проводников был сильно продвинут вперед. Самого Якоби эти работы убедили в необходимости прежде всего иметь определенную, единую, общепринятую единицу сопротивления. Как и в случае с единицей тока, Якоби повел горячую пропаганду своей идеи и, не ограничиваясь словесной пропагандой, предложил свою единицу и изготовил ее эталон.

«Одним из наиболее важных вопросов гальванометрии,— пишет Якоби в своем докладе Петербургской Академии наук, сделанном в 1857 г.— является установление единицы, которой будут измеряться сопротивления... Средства наблюдения, которыми мы располагаем в настоящее время, позволяют выполнить эти измерения со всей желаемой точностью... Возьмем какую-нибудь проволоку, предохраним ее насколько возможно от всякого внешнего влияния, будем сохранять ее с той же тщательностью, которую мы вкладываем в хранение нормальных мер,* сделаем ее, наконец, доступной для тех, кто захочет снять с нее копии — вот наш нормальный эталон, к которому ныне будут приводиться непосредственно или посредственно все провода, сопротивление которых надо будет узнать».

Это свое предложение Якоби осуществил в 1848 г., приготовив эталоны из медной проволоки однородного сечения длиной 25 фут. (7,61975 м) и весом 345 гран (22,4932 г). Копии своего

* Т. е. метр и килограмм.

эталона Якоби послал известному германскому физику Поггендорфу, с которым он находился всегда в тесном контакте. Поггендорф изготовил в своей лабораторной мастерской ряд точных копий эталона Якоби и разослал их наиболее выдающимся физикам Европы. Сообщения о произведенных этими лицами сравнениях единицы Якоби с другими можно найти в письмах Вебера и Поггендорфа к Якоби, сохранившихся в Архиве Академии наук. В частности, Вебер произвел сравнение единицы Якоби и со своей «абсолютной единицей» и определил величину единицы Якоби равной 0,5405 своей абсолютной единицы.

Образцы единицы Якоби были изготовлены с большой тщательностью в виде катушек из проволоки чистой меди, залитых изолирующей массой и помещенных в специальные ящики. С этих образцов за границей и изготавливались лучшими мастерами разных лабораторий копии эталона.

В 1857 г. Якоби демонстрировал уже нечто в роде «магазина сопротивлений». Это был ящик, содержавший 33 катушки, из них на 11 было намотано по 4 дюйма серебряной проволоки 0,007 дюйма толщиной (0,1 мм), на 11 — по 40 дюймов и на 11 — по 400 дюймов той же проволоки. Все катушки были залиты изолирующим составом. С этим «магазином» Якоби производил измерения, присоединяя последовательно свой ртутный агометр, в котором сопротивление могло быть изменяено плавно. Этот агометр, по словам Якоби, служил при измерениях нониусом (или верньером). *

В течение многих лет Якоби внимательно следил за изменениями образцов сопротивлений как изготовленных им самим, так и полученных из-за границы, и сам систематически производил их сравнение. О результатах этих сравнений за период с 1846 по 1858 г. Якоби докладывал Академии наук в 1859 г., отмечая, что эта работа охватила собой измерение 88 сопротивлений, сумма которых равна сопротивлению платиновой проволоки, толщиной в 1 мм и длиной почти в 42 км, или сопротивлению 18 500 введенным им единицам сопротивления, которые получают все более и более широкое признание со стороны ученых. Якоби подчеркивал: «Согласованность измерений рассеивает опасения, что проводимость проволок может подвергнуться от времени и употребления изменению, которое превзошло бы пределы, допустимые настоящим состоянием науки».

Изучая работы Якоби по измерению сопротивлений и сопоставляя их с работами, выполнявшимися за границей, необходимо признать, что Якоби в этом вопросе и особенно в вопросе об

* Нониус или верньер — приспособление для точного определения долей деления.

установлении единицы сопротивления и ее практическом осуществлении также принадлежит исключительная заслуга.

Интересно отметить, что в этом случае, как и во многих других, например, при обсуждении вопроса об эталоне метра, Якоби всегда высказывался против увлечения так называемыми «естественными» эталонами (например, определении метра, как одной сорокамильонной доли Парижского меридиана), доказывая, что повторные измерения этих величин, служащих основанием для «естественнных» эталонов, дают неизбежно различные результаты.

Как уже указывалось, Якоби работал вместе с Ленцем над магнитными измерениями, и они впервые установили своими исследованиями связь между намагничением железа током, величиной этого тока и числом витков в намагничивающей обмотке. Для своих работ Ленц и Якоби впервые применили метод измерения магнитных величин, получивший в дальнейшем название «баллистического». Вот, что пишет об этих работах в своем знаменитом курсе физики немецкий ученый Вюльнер: «Первыми, кто изучал зависимость временных магнитных моментов (в мягком железе) от намагничивающих токов были Ленц и Якоби... Вытекающий из исследований Ленца и Якоби закон, по которому временный магнитный момент пропорционален силе намагничивающего тока, был в дальнейшем многократно проверяется и оказывался верным». Фактически закон этот верен только для железа, находящегося в состоянии, очень далеком от насыщения, с каким и работали Ленц и Якоби. Заслуги Якоби и Ленца в исследовании магнитных свойств железа баллистическим методом подтверждают и французские ученые. В известном курсе «Электричество и магнетизм» Маскара и Жубера сказано: «Первые численные результаты относительно намагничивания мягкого железа принадлежат Якоби и Ленцу. Они применили индукционный метод к исследованию цилиндрического стержня и заключили из своих опытов, что намагничивание пропорционально силе тока». Вывод Ленца и Якоби об этой пропорциональности при дальнейших исследованиях полностью не подтвердился, но для условий, в которых делали они свои исследования (стержень большого сечения и слабые намагничивающие токи), он был верен.

Ленц и Якоби исследовали также связь между подъемной силой электромагнита и величиной намагничивающего тока. Первые исследования этого закона (закона «подъемной силы») для стержневидных электромагнитов были начаты именно Якоби и Ленцем, установившими закон пропорциональности подъемной силы квадрату намагничивающего тока.

Таким образом, в области магнитных измерений Якоби вместе с Ленцем положили начало применению двух способов определения магнитных свойств тел — «индукционного» и «отрывного», получивших затем широкое применение.

Важную роль сыграла деятельность Якоби в распространении по всему миру метрической системы.

Непрерывно борясь за установление общих для всего мира единиц измерения, Якоби, однако, добился осуществления своих стремлений только в отношении мер длины и массы. Потребовалось много лет для того, чтобы, опять-таки, в значительной степени по инициативе и по настоянию советских ученых, начата была работа по установлению действительно мирового единства в электрических, магнитных и световых единицах.

Действительно, в период организации Международного бюро мер и весов международные метрологические учреждения занимались только вопросами о мерах массы и длины и частично тепловыми измерениями (измерение температуры). Между тем, развивающаяся промышленность требовала научной работы и по другим измерениям, особенно по электрическим и световым. Попытки включить эти единицы в круг деятельности генеральных конференций по мерам и весам Международного бюро мер и весов, начатые уже в 1881 г. академиками Ленцем и Вильдом (немедленно после установления практической системы электрических единиц), не удалось, и только намного позже, в значительной мере благодаря настойчивости русских метрологов, был организован при Международном комитете мер и весов особый Консультативный комитет по электричеству. Затем уже, прямо по инициативе представителя СССР в Международном комитете, удалось организовать и Консультативный комитет по фотометрии. В этих комитетах советские метрологи, главным образом работники Всесоюзного метрологического института имени Д. И. Менделеева, провели большую работу. Она закончилась введением в 1948 г. новой международной абсолютной практической системы электрических и магнитных единиц и новых световых единиц.

Таким образом, осуществилось желание Якоби, чтобы не было французских, английских или немецких единиц, или, чтобы не было систем единиц Вебера, Пуллье, Якоби, но чтобы была осуществлена идея единой международной системы электрических единиц. Начало этому положено было трудами самого Якоби: именно он был инициатором той огромного значения работы, которую выполнили метрологи всего мира, в частности, наши советские метрологи, создавшие в СССР первоклассные эталоны абсолютных единиц тока, индукции, а также интегрального излучателя, этого нового эталона силы света. Указанные эталоны

хранятся теперь во Всесоюзном научно-исследовательском метрологическом институте, носящем имя Д. И. Менделеева (бывшей Главной палате мер и весов), и служат для поддержания единства показаний всех электрических и световых измерительных приборов, применяемых в СССР.

Вопросы метрологии были не единственными, которыми занимался в тот же период Якоби. Способность одновременно интересоваться и заниматься рядом вопросов была характерной чертой Якоби. Так, занимаясь электрическими измерениями, он интересовался и изготовлением разных электротехнических приборов, в том числе электроизмерительных. Ему, по всем признакам, принадлежит честь организации первой в России специальной электротехнической мастерской. Такая мастерская была организована Якоби при Гальванической команде, в которой под его наблюдением изготавливались электрические приборы для нужд армии и флота. Эту мастерскую, по многообразию выпускавшихся изделий, можно безоговорочно считать первым электропромышленным предприятием в России.

В своих заметках о поездках за границу Якоби отмечал, что многие приборы, которые ему показывали как новинки, уже многими годами раньше изготавливались в мастерской Гальванической команды и притом более высокого качества. Так, в Лейпцигском университете он видел «так называемый телеграф Морзе», который дает запись сигналов, аналогичную, но менее отчетливую, чем та, которая получается в одном из телеграфных приборов, которые были построены в России на десять лет раньше. В Лейпциге Якоби видел изготовленные механиком Штерером магнитоэлектрические машины, предназначаемые для замены на телеграфах гальванических батарей. Эти машины Якоби называет «магнитоэлектрическими батареями». «Штерер,— пишет Якоби,— получил некоторую известность в области конструирования магнитоэлектрических батарей. Тем не менее я не могу одобрить принятую им систему, и я убежден, что эффект этих магнитных батарей на 35 % ниже, чем батарей моего изобретения, построенных в мастерской нашего Гальванического заведения».

Во время своей поездки Якоби интересовался способами изготовления весьма тонкой проволоки и тонкой листовой меди, а также способами изготовления стали для постоянных магнитов и многими другими производствами. Он осматривал и телеграфы в различных странах, и в своих заметках обращает внимание на то, что почти во всех странах для телеграфов применены не медные, а железные оцинкованные провода, укрепленные на деревянных столбах на особых изоляторах. «В настоящее время,— замечает Якоби,— когда можно видеть большую часть Европы и Соединенных Штатов Америки пересеченной по всем направ-

лениям воздушными линиями, следует отдать дань уважения памяти П. Л. Шиллинга, который уже в 1835 и 1836 гг. предложил подобную систему для проведения электрического телеграфа из Петербурга в Петергоф».

Особый интерес представляло для Якоби посещение в Париже фабрики Кристофля, на которой было широко использовано изобретение Якоби — гальванопластика. «Г. Кристофль показал мне,— пишет Якоби,— по своим бухгалтерским книгам, что мое изобретение доставляет его фирме оборот от 300 до 400 тысяч франков в месяц». На заводе Кристофля работало тогда уже 400 рабочих. В Париже Якоби обратил внимание на приспособление, сделанное Фуко и Физо для быстрого вращения зеркала в приборе, предназначенного для определения скорости света. «Паровая турбина, предназначенная для вращения зеркала с неимоверной скоростью — 2 000 оборотов в минуту,— записывает Якоби,— является одной из самых замечательных частей устройства. Конструкции, использованной в этом случае, можно найти и другие применения в промышленности, во всех случаях, когда нужно получить большую скорость вращения». Известно, что это пророчество Якоби теперь осуществилось, и мы имеем, например, паровые турбины с большей скоростью вращения, чем «неимоверная скорость», наблюденная Якоби, а именно со скоростью 3 000 оборотов в минуту, а в некоторых типах паровых турбоагрегатов и в десятки тысяч оборотов в минуту (турбины Лавала).

Якоби очень интересовали вопросы подготовки в высших школах технически образованных инженеров. Он особенно подробно знакомился с постановкой преподавания в знаменитой Парижской Политехнической школе (Ecole Politecnique), которую ему показывал профессор школы, известный механик и математик Понселе.

Наиболее «интересным эпизодом» во время своего путешествия, как писал Якоби, он считал возможность присутствовать при работах по устройству подводной телеграфной связи между Францией и Англией. «В связи с важностью всех деталей действия этой установки, я составил о ней подробный доклад»,— сообщает Якоби. Видеть в передовых странах Европы осуществление в таком масштабе замыслов своих и Шиллинга, на много лет раньше осуществленных уже в России, было, конечно, исключительным событием для Якоби, которым он полностью и воспользовался. Якоби, во время своего путешествия, обращал особое внимание на все новое, что ему приходилось видеть. Он интересовался и способами лужения чугуна и серебрением стеклянных зеркал и даже изготовлением крупных стальных изделий, вплоть до отливки пушек.

Как уже отмечалось, характерной особенностью деятельности Якоби на протяжении всей его жизни была необыкновенная разносторонность. Он увлекался рядом вопросов, которые выдвигала сама жизнь, и упорно работал над ними. В этом можно убедиться, знакомясь, например, с его отчетом о поездке в 1851 г. по Западной Европе. За четыре месяца пребывания за границей Якоби успел посетить и осмотреть целый ряд крупнейших научных и технических учреждений в Германии, Англии и Франции, встретиться и беседовать с крупнейшими техниками и выдающимися учеными. Он всегда находил время посещать мастерские, в которых изготавливались физические и электротехнические приборы разного рода, и обстоятельно знакомиться с их производством.

Оставаясь прежде всего научным работником и подходя к каждому вопросу с истинно научной глубиной, Якоби всегда учитывал и практическое значение каждой работы. В этом отношении он был предшественником современных ученых-инженеров, у которых практическая ценность их исследований не уменьшает их научного значения. Деятельность Якоби глубоко ценили его сверстники, ценят ее и наши современники.

Вот как отзывалась Академия наук на его смерть: «*Тяжкая утрата поразила Академию и вместе с ней и науку*, — говорил в Общем собрании академии ее непременный секретарь, — ... тяжесть этой потери несколько не уменьшается тем, что к мысли о ней уже давно подготовила нас самая продолжительность болезни, сведшей его (Якоби) в могилу... Теперь, когда не засыпана приготовленная для него могила, можем мы пытаться умерить скорбь этой потери воспоминанием о пользе, принесенной покойным науке, искусству, промышленности, и об уважении, которым его имя пользуется как в нашем отечестве, так и во всех образованных странах земли. Как академик был всецело предан науке, которой себя посвятил... никто из нас не скажет, чтобы Якоби при каком бы то ни было случае принес интересы и достоинство Академии в жертву личным расчетам и корыстным целям. Так же безраздельна была и его любовь к науке. Он жил ею и для нее. Того, что он сделал в жизни, достаточно для его бессмертия в науке».

Как относились к трудам Якоби его современники не ученые, можно судить хотя бы из статьи, напечатанной в 1839 г. в петербургской газете «Северная пчела». «В средние века фанатики сожгли бы г. Якоби, а поэты и сказочники выдумали бы о нем легенду, как о Фаусте. В наше время мы не сожжем его, а согреем чувством признательности за его полезные труды и вместо легенды скажем правду..., что наука вправе от него надеяться много, потому что в нем истинная, пламенная страсть к наукам

и столь же пламенное желание быть полезным гостеприимной и благодарной России».

Однако сам Якоби, подобно многим другим выдающимся ученым, не был удовлетворен своей деятельностью. Незадолго до смерти (в 1872 г.) он писал Министру финансов: «Нижеподписавшийся не может не остановиться, к сожалению, на грустной для него мысли, что во многих важнейших случаях обстоятельства представляли ему только возможности инициативы, но не способствовали полнейшему осуществлению пламенного его желания дать научным работам такое развитие, чтобы Россия могла и в этом отношении, не прибегая к помощи заграничной техники, сама стать научным и промышленным центром, к которому остальные страны должны были бы обращаться как к источнику новых научных путей и практических применений».

Теперь, спустя около века после бурного периода развития деятельности Якоби, мы можем беспристрастно оценить эту деятельность и должны признать, что в лице академика Якоби мы имели и ученого, и физика, и настоящего ученого-техника.

Советская страна достойно чтит память Якоби. Его приборы собраны, восстановлены и им отведено почетное место в Музее связи имени А. С. Попова. Его труды собраны, обработаны и издаются Академией наук. Подробный библиографический указатель трудов Якоби и работ, посвященных этим трудам, уже издан Академией наук. В ряде сообщений и докладов, организованных Академией наук, подробно освещена вся деятельность Якоби и показана его роль во многих начинаниях, имевших мировое значение.

