

~~К 32~~

~~Б 865~~ о.г.

НА ДОМ ИС ВЫДАЕМОЙ

М. Д. БОЧАРОВА

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ  
РАБОТЫ

Б. С. ЯКОБИ

*Госэнергоиздат*





*Борис Семенович Якоби*

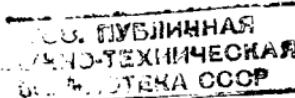
БОЧАРОВА М. Д.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ работы Б. С. Якоби



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

4.



173 ~~18~~  
~~60~~

41

14633

Книга представляет собой очерк о деятельности академика Б. С. Якоби в области электротехники.

На основе изучения документов и материалов дана характеристика электротехнических работ Б. С. Якоби, показаны его заслуги в истории мировой электротехники и обрисована обстановка, в которой жил и творил Якоби, создавая почву для возникновения ряда отраслей электротехники. Описаны основные работы Якоби в области электромашиностроения, телеграфии, военной техники, электрохимии и других отраслей науки.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся историей отечественной науки.

X 32  
59 14  
5865

Майя Дмитриевна Бочарова

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ РАБОТЫ Б. С. ЯКОБИ

Редактор Я. А. Шнейберг

Техн. редактор К. П. Воронин

Сдано в набор 27/VIII 1959 г.

Т-11066.

Тираж 2 000 экз.

Бумага 84×108<sup>1/2</sup>

Подписано к печати 25/XI 1959 г.

11,9 печ. л.

Уч.-изд.л. 13,6.

Цена 7 р. 80 к.

Заказ 457

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Творчество выдающегося русского ученого Бориса Семеновича Якоби было исключительно многогранно. Оно касалось вопросов электротехники, физики, метрологии, металлургии платины, алкогометрии. В каждой из этих областей его работы оставили глубокий след. Он неизменно вносил принципиально новые идеи и мысли, оказывавшие серьезное влияние на дальнейшее развитие науки и техники. Однако главный труд жизни Якоби составляли его работы по электротехнике, которые принесли ученому бессмертие в науке и мировую славу. Место Б. С. Якоби среди русских ученых С. И. Вавилов определил следующими словами: «Имя Якоби, выдающегося физика, гениального электротехника и изобретателя, по праву должно быть поставлено наряду с другими славными именами академиков-физиков — Эйлера, Ломоносова, Петрова»<sup>1</sup>.

Б. С. Якоби один из первых занялся широкой разработкой практических применений электричества и добился в этом важных результатов.

Основной движущей силой творчества Якоби в области электротехники было стремление поставить электричество на службу родине. В конце жизни ученый писал, что он «гордится этой (научной — М. Б.) деятельностью, потому что она, оказавшись плодотворной в общем интересе человечества, вместе с тем принесла непосредственную и существенную пользу России».

Многие работы Якоби в области электротехники дали начало новым ее разделам — гальванотехнике, электрическому транспорту, способствовали развитию военной электротехники, электротелеграфии. Стремление осветить именно эту сторону деятельности Якоби явилось решающим в определении направления настоящей книги — рассмотрение трудов Якоби по практическому приложению электри-

<sup>1</sup> С. И. Вавилов, Очерк развития физики в Академии наук СССР за 220 лет, в кн. «220 лет АН СССР», М.—Л., 1945, стр. 18.

чества и выявление роли этих трудов в развитии электротехники.

Б. С. Якоби как в дореволюционной, так и в советской литературе посвящено немало работ различных авторов. Это главным образом юбилейные статьи, приуроченные к каким-либо датам биографии Якоби, либо статьи об отдельных его трудах и изобретениях. В них в силу специфики журнальных статей не мог быть дан развернутый анализ творчества ученого. Они были не лишены ряда ошибок и неточностей. Вместе с тем следует назвать три статьи, дающие квалифицированный и глубокий технический разбор работ Якоби. Это статьи: Д. С. Пашенцева по телеграфным аппаратам [Л. 58], М. А. Шателена по электрическим измерениям [Л. 88] и А. Н. Фрумкина по электрохимии [Л. 97]. Б. С. Якоби посвящены также два отдельно изданных небольших очерка истории гальванопластики, написанные А. С. Владимирским в 1869 г. и А. А. Ильиным в 1889 г., к пятидесятилетию изобретения. В советское время в течение многих лет изучением материалов о деятельности Б. С. Якоби занимался М. И. Радовский, которому принадлежат две книги о Якоби, носящие в основном биографический характер.

Большую ценность представляют сборники документов и материалов, в которых приведены переводы оригинальных работ ученого: «Электродвигатель в его историческом развитии» [Л. 90], «Динамомашина в ее историческом развитии» [Л. 20], «Развитие минного оружия в русском флоте» [Л. 68] и сборник работ Б. С. Якоби по электрохимии [Л. 97].

Особо следует отметить библиографический указатель трудов Б. С. Якоби и литературы о нем, составленный М. Г. Новлянской с исключительной полнотой и тщательностью, что делает его важным справочным пособием для всех интересующихся творчеством ученого.

При всем том в литературе до настоящего времени не нашли должного освещения и анализа многие стороны деятельности Б. С. Якоби в области электротехники, в частности, по электрическим машинам, телеграфным линиям, электрическим кабелям, электроминным устройствам и ряду других вопросов.

Приступая в свое время к изучению трудов Якоби по практическому приложению электричества, автор отдавал себе отчет в сложности поставленной задачи. Отдельные факты творчества Якоби были подробно освещены в ли-

тературе. История изобретения гальванопластики, бурно и счастливо вошедшей в жизнь сразу же после ее создания, была изложена по сути дела самим изобретателем, а вслед за ним многочисленными авторами.

С другой стороны, трудность поставленной задачи усугублялась тем обстоятельством, что ряд работ Якоби, в частности по военной электротехнике и электротелеграфии, носили в свое время секретный характер и поэтому не были опубликованы. Из скучных фраз отчетов и докладов, сохранившихся в архивах, трудно было составить представление о процессе творчества ученого.

В настоящей книге главное внимание было уделено выяснению технического содержания трудов Б. С. Якоби, закономерностей в постановке ученым тех или иных задач в связи с общим развитием науки и техники, методов их разрешения. Биографические сведения, а также работы Якоби в других областях науки и техники затронуты лишь в той степени, в какой они имели значение для принятого направления.

Основные сведения для изучения творчества Б. С. Якоби были почерпнуты из его сочинений, материалов государственных архивов и Центрального музея связи им. А. С. Попова. Широко использованы были также сборники документов и материалов, а также журнальная периодика времен Якоби и различные книги, содержащие данные о нем.

Наличие названных выше работ Д. С. Пащенцева и А. Н. Фрумкина, разбирающих по существу труды Якоби в области телеграфных аппаратов и электрохимии, позволило автору, сославшись на эти работы, остановиться только на отдельных моментах, дополняющих и уточняющих ранее известное. Обширные исследования Якоби в области военной электротехники имеют большое значение не только для развития электротехники. Они сыграли основополагающую роль во внедрении электричества в армии и флоте России. Изучение и оценка роли Якоби в развитии военной техники должны быть выполнены специалистом в этой области и поэтому в книге труды Якоби по электроминному делу рассмотрены только в аспекте развития электротехнических устройств. Без детального рассмотрения были оставлены работы Якоби по метрологии и в том числе по электрическим измерениям, как имеющие только косвенное отношение к теме и требующие вместе

с тем по своему объему и значению специального исследования.

Настоящая книга, цель которой дать технический анализ работ Якоби по практическому приложению электричества, не претендует на исчерпывающую полноту. Отчетливо понимая это, автор все же надеется, что книга может оказаться полезной лицам, интересующимся начальным периодом развития электротехники, у истоков которой стоял Борис Семенович Якоби.

В процессе своей работы автор пользовался неизменной поддержкой и консультациями профессора Л. Д. Белькинда и возглавляемой им кафедры истории техники Московского энергетического института, которые проявили большое внимание к настоящей работе.

*Автор*

## *Глава первая*

### *Б. С. Якоби — ученый и инженер*

Личность Бориса Семеновича Якоби представляет несомненный интерес редким для его времени гармоничным сочетанием научного и инженерного направлений деятельности. В этом смысле он являл собой тип нового ученого, рассматривавшего научное творчество в тесной связи с производством. Одним из первых Якоби начал разрабатывать проблемы практического использования электричества, внеся немалый вклад в создание фундамента электротехники.

На формирование Б. С. Якоби как ученого не могли не оказать влияние условия, в которых он начал свою деятельность. Его детство, юность и первые годы самостоятельной работы прошли в Германии. Борис Семенович (или Мориц Герман, как он именовался до переезда в Россию) Якоби родился 9 сентября<sup>1</sup> 1801 г. в Потсдаме в семье коммерсанта. Начальное образование он получил в местной гимназии. В 1821 г. поступил в Берлинский университет, но затем через несколько месяцев перешел в Геттингенский, в котором обучался до 1823 г. В 1829 г. Якоби, выполнившему необходимую зачетную работу, было присвоено звание архитектора-строителя и дано право на государственную службу. Вскоре он был принят в штат строительного департамента Пруссии и оставался в этой должности до 1833 г. В 1834 г. Якоби переехал в Кенигсберг, где в университете преподавал его брат, известный математик Карл Георг Якоби.

Германия первой трети XIX века представляла собой политически раздробленное государство, в котором продолжал существовать феодально-абсолютистский режим. В экономическом отношении германские государства значительно отставали от передовых капиталистических

<sup>1</sup> Здесь и ниже даты приведены по старому стилю.

стран — Англии и Франции. Серьезным толчком для развития германской промышленности послужила континентальная блокада. К 20-м годам прошлого века происходит заметное усиление капиталистических элементов в хозяйстве: растет механизация производства, развиваются металлургическая и текстильная промышленность, речной и железнодорожный транспорт. В 1824 г. по Рейну прошел первый пароход, а в 1825 г. образовалось Прусское рейнское пароходство. Наиболее передовой промышленной областью Германии была Пруссия, где тогда жил Б. С. Якоби.

Молодой Якоби оказался в сфере активной деятельности развивающегося капитализма. Как инженеру-строителю ему пришлось принимать участие в сооружении зданий, дорог, каналов, мостов. Он руководил постройкой ряда зданий в Потсдаме, являлся одним из авторов проекта канала для регулировки реки Гавеля у г. Ораниенбурга; ему принадлежит проект крупного моста на участке дороги между Берлином и Потсдамом.

Эти практические работы Якоби свидетельствуют о его незаурядных инженерных способностях. Однако внимания заслуживает не только эта служебная, но и особенно частная научная деятельность Якоби, которая определялась его личными стремлениями и может достаточно верно показать направление интересов ученого в то время.

Развитие капитализма заставило по-новому оценивать роль науки. В прошлое начинает уходить отвлеченная, чисто теоретическая постановка задач. Капиталистический способ производства, основанный на широком применении машин, активно привлекает науку для решения практических вопросов. Достаточно вспомнить здесь, что проблему отбелки огромного количества тканей, производимых на механических ткацких станках, удалось решить благодаря трудам французского ученого К. Л. Бертолле, что способ фабричного производства соды, столь необходимой в различных технологических процессах, разработал другой ученый — француз Н. Леблан. Стремление выяснить причины большого расхода топлива в паровых машинах привело французского ученого С. Карно к созданию знаменитой работы «Размышление о движущей силе огня, и о машинах, способных развивать эту силу», в которой впервые были изложены основные положения второго начала термодинамики. Подобные примеры можно было бы продолжить. Усилия ученых направляются теперь на решение проблем, в большей или меньшей степени связанных с нуж-

дами производства. Критерием ценности научной работы постепенно становится ее применимость для практических целей.

Эти новые веяния, пришедшие в науку вместе с утверждением капитализма в общественной жизни, нашли свое отражение и в творчестве молодого Якоби. Обращает на себя внимание, что из шести известных нам оригинальных печатных работ Б. С. Якоби допетербургского периода его деятельности, не относящихся к электромагнетизму, три посвящены вопросам транспортных сообщений.

Проблема дорожного и мостового строительства была для того времени исключительно актуальной. Совершенно неудовлетворительное состояние дорог и мостов, оставшихся от феодального общества, становится в конце первой четверти XIX века узким местом в развитии капиталистического производства. Поэтому уже в конце 20-х и начале 30-х гг. в ряде европейских стран и в США вступают в эксплуатацию первые железные дороги. Параллельно этому идет сооружение шоссейных дорог, мостов, каналов, шлюзов. Предложения об организации путей сообщения, особенно о строительстве железных дорог, вызывали самые горячие дискуссии как на страницах печати, так и в соответствующих учреждениях. Ученые и общественные деятели разных стран искали правильное решение этого жизненно важного вопроса.

Появление в этой обстановке упомянутых трех работ Якоби о средствах сообщения свидетельствуют о том, что молодой их автор не только не стоял в стороне от насущных задач своего времени, но был настолько захвачен ими, что сам работал над этими вопросами, публиковал свои собственные соображения.

Интересна позиция, с которой подходил к транспортной проблеме Якоби. Он пишет работы «Об увеличении народного достояния через строительство шоссейных дорог», «Размышление о шоссейных, водных и железнодорожных путях сообщения. О влиянии этих факторов на национальное богатство», «О значениях внутренних путей сообщения». Близко по постановке вопроса к этим работам примыкает и четвертое сочинение Якоби «Об использовании естественных сил природы для нужд человека»<sup>1</sup>.

Перечисленные работы показывают, что взгляды и научные интересы Якоби формировались под влиянием про-

<sup>1</sup> Разбор этой работы Якоби дан в статье Т. П. Кравеца [Л. 36].

грессивных тенденций развития капитализма: его внимание захватывает одна из важнейших проблем той эпохи, близкая по характеру его специальности строителя; точка зрения Якоби в этой области соответствует духу времени, т. е. нуждам капиталистического производства. Это весьма знаменательный факт, ибо тогда далеко не все ученые и общественные деятели смогли правильно понять важность развития транспорта. В частности, против строительства железных дорог выступал Д. Ф. Араго [Л. 16].

Эти же сочинения позволяют заключить, что Якоби был образованным инженером, стоящим на передовых научных позициях. Он обнаруживает знание работ Бернулли, Лапласа, Лагранжа, Карно, Уатта, Понселе, Прони. Он совершенно свободно, как с очевидным, оперирует понятием «механическая работа», которое в то время только что входило в науку<sup>1</sup>. Якоби фактически подходит к пониманию закона сохранения энергии для механической работы и теплоты, приравнивая количество калорий количеству механической работы, произведенной действием этого тепла. Освоить новые научные понятия было далеко не таким легким делом, как это может показаться в настоящее время. Необходимы были глубокие знания и четкое понимание физических процессов, чтобы суметь применить к практической работе положения, изложенные в весьма отвлеченной форме. Впоследствии Якоби писал: «Совершенно верно, что блестящие геометры Франции — Лаплас, Лагранж, Карно, Пуассон — в начале столетия открыли важный принцип сохранения живых сил. Тем не менее формулы, заключающие этот принцип, имеют настолько абстрактный характер и рассматривают вопрос с такой общей точки зрения и настолько на высоком уровне, что нужно быть одновременно первоклассным геометром, равно как и конструктором, чтобы эту совокупность материальных точек, которой равновесие или движение подвергается анализу, применить в какой-то существующей машине, которую имеют под рукой и полезное действие которой нужно определить» [Л. 99].

Несомненно, что в формировании передовых научных взглядов Б. С. Якоби важная роль принадлежала и его производственной деятельности. Ему как инженеру приходилось иметь дело с теми самыми механизмами, которые поднимали и опускали груз, которые преобразовывали теп-

<sup>1</sup> Термин «работа» был узаконен Понселе, Кориолисом и др. в 1825—1829 гг.

лоту в механическую работу и т. п. Он на практике мог убедиться в справедливости новых научных положений и стать их приверженцем.

Из запросов практики родилась у Якоби и мысль о построении нового двигателя, в котором источником энергии служило электричество.

Таким образом, обстановка подъема капиталистической промышленности с характерным для нее подчинением научного творчества нуждам производства, с одной стороны, и участие в практической работе — с другой, оказали значительное влияние на выработку у Якоби практического направления всей его научной деятельности.

В 1835 г. Б. С. Якоби, выдвинувшийся к тому времени как самостоятельный ученый, был приглашен в Россию, в Дерптский (ныне Тартуский) университет на вакантное место экстраординарного профессора архитектуры.

Очень характерны тема и содержание первой вступительной лекции, прочитанной Якоби в Дерптском университете. Для этой лекции, в которой молодой ученый должен был показать свои силы на новом поприще, естественно было выбрать тему, глубоко продуманную и серьезно интересующую самого лектора. Начало работы в университете было для Якоби тем более важным шагом, что подобного места он, по его собственным словам, ожидал шесть лет в Пруссии, но так и не дождался.

Темой своей первой лекции Б. С. Якоби избрал вопрос о взаимоотношении науки и техники. Через всю лекцию он проводит мысль, что наука и техника должны быть неразрывно связаны между собой, и только в этом случае могут быть достигнуты значительные успехи в развитии как науки, так и техники.

В университетских стенах, где издавна по традиции придерживались в основном чисто теоретического направления, эта речь могла произвести неблагоприятное впечатление. Но Якоби, глубоко убежденный в своей правоте, говорил о бесплодности отвлеченных, оторванных от жизни теоретических исканий и призывал использовать практику и опыт для достижения подлинно научных результатов. Здесь же Якоби рассказывает о своей предшествующей работе и излагает кредо своей научной деятельности: «Я учился в немецких университетах; изучение точных наук было моим главным занятием, — говорит Якоби. — Позднее силой обстоятельств я был втянут в практическую деятельность, и моя работа в области строитель-

ства носила самый разнообразный характер. Но, хотя при быстрых успехах науки это было очень трудно, я всегда старался не отставать от ее уровня. Я черпал из науки только то, что ведет или обещает повести к практическим результатам. Я поставил себе задачу примирить науку и технику, стереть несправедливую разницу, которую установили между теорией и практикой»<sup>1</sup>.

В качестве примера умелого сочетания теории с практикой Б. С. Якоби приводит работы русских ученых.

Избрание Якоби в Петербургскую академию наук адъюнктом (1839 г.) по практической механике и теории машин, экстраординарным академиком по прикладной математике (1842 г.) и затем ординарным (1847 г.) академиком по части технологии и прикладной химии, приспособленной к искусствам и ремеслам, также способствовали развитию практического уклона его деятельности. Академиком по физике Якоби был избран в 1865 г., после смерти Э. Х. Ленца.

Работа в коллективе таких русских ученых как Э. Х. Ленц, Г. И. Гесс, А. Я. Купфер, П. Л. Чебышев и др., отличавшихся стремлением приблизить свои работы к нуждам общества, помогла Б. С. Якоби найти в своих трудах правильное соотношение теоретического и практического направлений. Как явствует из всех работ Якоби, в том числе и тех, на которых мы остановимся ниже, он никогда не был грубым эмпириком. Практическая направленность его работ сочеталась с глубиной теоретических обобщений, выяснением физической сущности процессов, выведением закономерностей наблюдаемых явлений. «Наука и практика, — писал Якоби, — должны взаимно поддерживать и усовершенствовать друг друга... взаимное их действие друг на друга всегда будет иметь полезные следствия» [Л. 100]. Подтверждение правильности этого своего убеждения Якоби видел и в открытии гальванопластики, и в своих работах над электродвигателем, телеграфом и др.

Весь ход развития науки и техники вплоть до наших дней показал, как глубоко прав был Б. С. Якоби. Продолжая традиции русской науки, ведущие свое начало от М. В. Ломоносова, он один из первых поставил вопрос о необходимости тесного сочетания теоретической и практической работы в области электромагнетизма. Для творчества Якоби этот принцип оказался исключительно плодо-

<sup>1</sup> Цитируется по [Л. 67].

творным и дал ему право в результате многочисленных изобретений стать одним из ведущих электротехников середины XIX в.

В течение непродолжительного дерптского периода своей жизни (сентябрь 1835 г.—май 1837 г.) Якоби ведет интенсивную работу как по своей кафедре архитектуры (он, например, проектирует новые здания для университета, проектирует и строит Домбергский мост), так и по электромагнетизму, серьезно завладевшему его научными интересами.

Изучением электромагнетизма Б. С. Якоби занялся в самом начале 1830-х годов, еще до переезда в Дерпт. Заинтересовавшись этой новой областью физики, он увидел возможность использовать электричество для построения электродвигателя, что и осуществил в 1834 г. В Дерпте Якоби, продолжая совершенствовать свой двигатель, начал систематические исследования по электромагнетизму — изучение электромагнитов, гальванических элементов. В России Якоби попал в обстановку глубокого и серьезного интереса со стороны русских ученых к проблемам электромагнетизма и его практического использования. Труды В. В. Петрова, П. Л. Шиллинга, Э. Х. Ленца сыграли значительную роль в развитии теории и практических приложений электричества и подготовили почву для дальнейших работ в этом направлении. Научные интересы Якоби оказались исключительно созвучны направлению творчества русских ученых и с их стороны встретили всяческую поддержку.

В это время Якоби устанавливает научные связи с Петербургской академией наук, в частности, с Э. Х. Ленцем, последующая совместная работа с которым дала значительные результаты. Работы Якоби по электромагнетизму были поддержаны В. Я. Струве, в то время профессором Дерптского университета, с ними были знакомы К. М. Бер, П. Л. Шиллинг. Через этих ученых об изобретении Якоби стало известно правительству, которое заинтересовалось им и решило начать испытания нового двигателя, имея в виду использовать его во флоте.

В 1837 г. Б. С. Якоби был вызван в Петербург, где была образована «Комиссия для приложения электромагнетизма к движению судов по способу профессора Якоби». С этого времени он почти безвыездно жил в Петербурге вплоть до своей смерти, последовавшей 27 февраля 1874 г. Несмотря на то, что Б. С. Якоби был выходцем из Герма-

ний, Россию он считал «вторым отечеством, будучи связан с нею не только долгом подданства и тесными узами семьи, но и личными чувствами гражданина»<sup>1</sup> [Л. 101].

Россия первой половины XIX в. представляла собой отсталое как в технико-экономическом, так и в политическом отношении государство. Господствовавшие в стране феодальные порядки были сильнейшим препятствием развитию промышленности, техники, экономики. Но неумолимый ход истории подтачивал основы крепостнического государства. Развитие капиталистических отношений в России шло все нараставшими темпами. К 1830—40 гг. заметно выросло как число механизированных предприятий, так и масштаб фабричной и другой промышленной деятельности. Тем с большей силой проявлялась реакционная сущность самодержавия, искусственно тормозившего процесс промышленного развития и приводившего страну к хозяйственной и культурной отсталости.

Единственной областью, в которой крепостническое государство не могло не считаться с развитием техники, было военное дело, так как в армии оно видело опору самодержавия. Экономический и технический рост соседних европейских стран и связанное с этим усиление их военной мощи заставили русское правительство обратить внимание на возможности, которые сулили новые научные открытия и изобретения в области военного дела.

Для серьезных преобразований в русской армии, подобно тому, как это происходило тогда в армиях Англии и Франции, не было ни материальных, ни технических средств. В стране добывалось мало металла, отсталой была военная промышленность, основывавшаяся на малопроизводительном крепостном труде. Что могло противопоставить царское правительство нарезным дальнобойным ружьям, дальнобойной артиллерией, паровому флоту, вводившимся на вооружение западноевропейских армий?

В этой обстановке вполне понятен интерес, проявленный к электродвигателю Якоби, а также к другим техническим применением электричества (мины, телеграф) со стороны Николая I и его сановников. Применением электричества в военном деле пытались компенсировать техническую отсталость русской армии и флота. Электричество особенно привлекало взоры правителей России, ибо, как

<sup>1</sup> В 1848 г. Б. С. Якоби принял русское подданство. В России он вступил в брак с Александрой Григорьевной Кохановской. Имел четырех детей.



Б. С. Якоби

показалось вначале, применение его потребует незначительных затрат и даст в то же время большой эффект. Поэтому было принято решение попытаться использовать электродвигатель для движения судна, заняться разработкой электрических мин и электрического телеграфа. В связи с вышеизложенным становится понятной причина сравнительно большого внимания, которое уделялось правительством исследованиям Якоби в области практических приложений электричества, вследствие чего его работы были материально обеспечены лучше, чем труды многих других ученых. Однако общая косность, рутиня, страх перед новым давали себя знать даже и в этой, официально поддерживаемой области техники. Творчество Якоби на благо России, как и творчество других изобретателей, встречало на пути и преступное равнодушие, и неверие, и преклонение перед всем заграничным.

В период 1837—1855 гг. Б. С. Якоби были осуществлены важнейшие его работы по электрическим машинам, те-

леграфу, минам, гальванопластике. Эти изобретения и связанные с ними теоретические исследования принесли ему славу выдающегося электротехника. Большое место в творчестве ученого занимали вопросы электрических измерений, которые непосредственно вытекали из требований практической электротехники: для измерений как технических, так и лабораторных, необходимы были соответствующие инструменты, методика измерений.

Работы по электрическим и магнитным измерениям привели Б. С. Якоби к специальным серьезным занятиям метрологией, которой он посвятил последние 10—15 лет своей жизни. Его научная и организаторская деятельность в этой области сыграла значительную роль в ускорении решения многих назревших тогда проблем метрологии — установление единства мер и весов (метрическая система), выработка общепринятых электрических и магнитных единиц и т. д. [Л. 88].

Другие труды Якоби по электротехнике свидетельствуют о том, что ученый много думал над практическим использованием электричества. Так, например, для китобойного судна «Аян», отправлявшегося на промысел в Тихий океан, Якоби конструирует в 1853 г. электрический китобойный аппарат. Этот аппарат состоял из обычного гарпиона, соединенного гибким медным проводом с электрическим генератором. При ударе гарпиона о тело кита включался ток, который и добивал животное [Л. 50].

Работал Якоби и над проблемой электрического освещения. До последнего времени в литературе встречалось неверное утверждение, будто бы в 1849 г. в Петербурге Якоби проводил опыты освещения улиц посредством изобретенной им лампы. Действительно, в 1849 г. он принимал участие в опытах электрического освещения, но посредством дуговой лампы француза А. Ж. Аршро и только как член экспертной комиссии [Л. 5, стр. 74].

Из отчета Якоби о заграничной командировке 1851 г. яствует, что им задолго до этого была построена для освещения минных галерей дуговая лампа с дифференциальным регулятором (термин Якоби), который, как отмечал изобретатель, «кажется более отвечающим своему назначению», чем регулятор Фуко. Однако более подробных сведений о лампе Якоби пока обнаружить не удалось.

В одном из выступлений в Академии наук в 1841 г. Якоби высказал идею об электроприводе шелкопрядильного станка. По заданию министерства финансов он зани-

Мался разработкой электролитического способа отделения золота от серебра.

Все приведенные факты показывают, что Якоби смотрел на электричество как на универсально применимый вид энергии и делал попытки практически использовать эту энергию в различных установках.

Примерно в 1860-х годах произошел отход Б. С. Якоби от активных работ по электромагнетизму. В 1856 г. в связи с имевшими тогда место преобразованиями в организации гальванической службы в русской армии он был уволен из инженерного ведомства: сократилось финансирование его электротехнических исследований, из его ведения была взята лаборатория и мастерская при Учебной гальванической команде, где Якоби проработал более пятнадцати лет. Еще ранее в руки иностранных предпринимателей было передано все телеграфное строительство в России. Поддержки и помощи в электротехнических исследованиях ждать было неоткуда.

В это же время, после окончания Крымской войны, показавшей гнилость самодержавия и полное банкротство политики Николая I, наступил общественный подъем. Правительство вынуждено было встать на путь реформ, которые коснулись и научных учреждений. Были пересмотрены программы и уставы, впервые на русском языке начали издаваться труды Академии наук; академиков стали шире привлекать к решению общественно-полезных проблем. В ежегодных отчетах непременного секретаря Академии наук появился специальный раздел о практических поручениях, выполняемых членами Академии.

Б. С. Якоби постоянно, в течение всего предшествующего времени, кроме основных работ по практическому применению электричества, выполнял задания различных правительственные органов. Он выяснил причину порчи металлических пуговиц и блях на мундирах при длительном их хранении в интенданских складах, выступал экспертом при сдаче заказов на специальную сталь фирме Круппа, при устройстве громоотводов, а также при выполнении гальванопластических работ. Кроме того, Якоби был членом Мануфактурного совета, где ему было поручено рассмотрение заявок на различные изобретения.

В 1859 г., в связи с предполагавшимся введением в обращение платиновой монеты, Якоби был привлечен к изучению способов обработки шлиховой платины, которое по поручению русского правительства проводили фран-

цузские ученые Сент-Клер Девиль и А. Дебре. Якоби был командирован в Париж, участвовал в работах, приведших к изобретению нового способа плавки платины. Вопросу обработки платины Якоби посвятил обширный труд «О платине и употреблении ее в виде монеты» (1860 г.), который, по мнению специалистов [Л. 24], «...обязателен к прочтению для всех, кто занимается металлургией платины», настолько в нем глубоко, с проникновением в мельчайшие специальные детали изложена суть предмета.

В течение 1860-х годов Якоби неоднократно участвовал в решении различных практических задач (производство спичек, строительство громоотводов и т. п.). В 1864 г. академики Ленц, Якоби, Купфер и Фрицше были включены в комиссию министерства финансов для разработки практически удобного способа определения крепости алкогольных напитков. Это поручение в значительной мере определило тематику научных исследований Якоби в последние годы его жизни. Проблема алкогометрии заинтересовала ученого. Он изучает различные известные системы приборов для измерения состава спиртных напитков, физические процессы, имеющие влияние на их действие, в частности, капиллярность. Сам Якоби разрабатывает новые конструкции алкогометров, испытывает их, дает их теорию.

В 1872 г., за два года до смерти, тяжело больной Б. С. Якоби вынужден был почти полностью прекратить научную деятельность. Свои неоконченные труды он завещал молодому поколению.

\* \* \*

\*

Научная работа Бориса Семеновича Якоби была столь плодотворна в значительной мере потому, что он опирался на передовые научные теории. Основой его трудов служил закон сохранения энергии. Он исходил из закона сохранения энергии при анализе энергетических переходов для механического движения и для теплоты. При изучении электричества Якоби вначале стоял на неправильной позиции, не поняв всеобщности закона сохранения энергии. Вследствие этого он допустил ошибки в оценке возможностей электродвигателя и даже говорил о физическом «перpetuum mobile». Однако позже, к началу 1840-х годов, Якоби сам обнаружил ошибочность своих первоначальных суждений и пришел к пониманию закона сохранения энергии и для электромагнитных процессов.

С самого начала своей деятельности в области электротехники Якоби пользовался законом Ома, который долгое время не был понят и не признавался современниками. Якоби неоднократно подчеркивал большое значение этого закона для количественной оценки электрических процессов. Труды Якоби, а также его совместные работы с Ленцем, много помогли распространению и правильному пониманию этого основного закона электрической цепи. Весьма показательным является то, что акт признания работ Ома со стороны Лондонского королевского общества, имевший место через пятнадцать лет после опубликования сочинения Ома, в значительной мере основывался на успешном использовании выводов Г. Ома в работах Гаусса, Ленца и Якоби [Л. 7].

Б. С. Якоби был хорошо знаком и постоянно следил за работами в области электромагнетизма таких ученых как Фарадей, Ленц, Ампер, Араго, Эрстед, Беккерель, которые, в свою очередь, высоко ценили труды Якоби и неоднократно выражали ему свое уважение и восхищение его научными достижениями<sup>1</sup>.

Признание высоких заслуг своих коллег не мешало Якоби смело указывать на неточность или ошибочность их выводов, когда к этому имелся повод. Критическая статья Якоби «О гальванической искре» (1838 г.), написанная в связи с работой Фарадея на эту тему, получила высокую оценку последнего, который с научной принципиальностью писал: «Эта прекрасная статья, и хотя я не повторял этих опытов, но описание их приводит меня к убеждению, что я, вероятно, ошибался [Л. 72, стр. 9].

Якоби выступал в печати с опровержением работ немецкого физика Мозера, высказавшего неправильную точку зрения на явление индукции, имеющее место при размыкании и замыкании электрической цепи, а также против противоречащих закону Ома выводов итальянского профессора Даль-Негро.

Глубокая научность всего творчества Якоби и замечательные результаты, достигнутые им в практическом применении электричества, снискали ему признание ученых всего мира. Он был избран почетным членом и членом многих (более 15) научных обществ Европы. Его неоднократно приглашали выступать с научными докладами (например, Парижская Академия наук, Общество британских

<sup>1</sup> См. письма к Якоби Фарадея, Эрстеда и др. [Л. 62].

естествоиспытателей). Якоби участвовал в работе руководящих органов международных конференций, выставок, был награжден орденами различных стран.

Наибольшую известность принесло Якоби изобретение гальванопластики, которая еще при его жизни получила огромное распространение. Необходимо иметь в виду, что многие чрезвычайно ценные работы Якоби, особенно по электротелеграфии и военной электротехнике, были засекречены и, следовательно, не были знакомы современникам. В то же время в России они не были использованы в должной мере. Несмотря на формальную поддержку, Б. С. Якоби, как мы покажем ниже, встретил равнодушные и непонимание, а иногда и прямое противодействие, тормозившее развитие электротехники и применение изобретений Якоби на практике. В конце своей жизни Якоби писал, что он «...не может не остановиться с сожалением на грустной для него мысли, что во многих важных случаях обстоятельства представляли ему только возможность инициативы, но не способствовали полнейшему осуществлению пламенного его желания дать означенным научным работам такое развитие, чтобы Россия могла в этом отношении, не прибегая к помощи заграничной техники, сама стать научным и промышленным центром, к которому остальные народы и страны должны были бы обращаться как к источнику научных путей и практических применений» [Л. 101].

---

## *Глава вторая*

# *Работы Б. С. Якоби в области электрических машин*

История электромагнетизма ко времени начала работ Якоби была коротка, но насыщена значительными событиями (табл. 1). Все они играли огромную роль для накопления знаний о новом виде энергии. Каждое из них раскрывало какое-нибудь новое, на первый взгляд непонятное проявление этой «тайной силы», как ее тогда часто называли.

Но среди этих открытий были два, которые по своему значению для дальнейшего развития знаний об электричестве представляли важный этап. Это — открытие действия тока на магнитную стрелку и открытие явления электромагнитной индукции.

В 1820 г. датский ученый Х. К. Эрстед опубликовал брошюру «Опыты, касающиеся действия электрического конфликта на магнитную стрелку». В ней он обращал внимание ученых на замеченное им действие проводника с током на магнитную стрелку. Этот факт, свидетельствуя о взаимодействии и связи явлений электричества и магнетизма, опровергал господствовавшее в течение двух с лишним веков мнение о различной природе электрических и магнитных явлений.

Развитие материальной жизни общества ставило перед наукой новые задачи. В отличие от всех предшествующих общественных формаций капиталистический способ производства, опиравшийся на машинную технику, мог развиваться только на основе широкого использования данных науки. Именно это обстоятельство привело к бурному развитию науки и в первую очередь естествознания.

Определенный уровень знаний был накоплен и в области электричества. В этой обстановке элементарный опыт

Таблица I

*Важнейшие открытия и изобретения в области электричества и магнетизма в 1800 — 1835 гг.*

Дата	Сущность открытия или изобретения	Автор
1799 г.	Источник постоянного электрического тока — вольтов столб	Вольта
1800 г.	Электролиз воды	Карлейль и Никольсон
1802 г.	Электролиз поваренной соли Открытие явления электрической дуги	Крейкшенк
1805 г.	Теория электролиза	Петров
1807— 1808 гг.	Посредством электролиза получены металлы K, Na, Ba, Mg, St, Ca	Гротгус Дэви
1809 г.	Электрохимический телеграф	Земмеринг
1812 г.	Первое применение электричества для взрывания мин	Шиллинг
1820 г.	Обнаружение действия тока на магнитную стрелку Мультиплликатор	Эрстед
	Намагничивающее действие тока, соленоид	Швейггер
	Разработка основ электродинамики	Араго
	Идея об электромагнитном телеграфе	Ампер
1821 г.	Закон взаимодействия тока и магнита Термоэлектричество Взаимное вращение магнитов и проводников с током	Био, Савар, Лаплас Зеебек Фарадей
1823 г.	Астатическая пара	Ампер
1824 г.	Первый термоэлемент (висмут и сурьма) Магнетизм вращения	Эрстед и Фурье Араго
	Изобретение „колеса Барлоу“, прообраза электродвигателя	Барлоу
1825 г.	Электромагнит	Стерджен
	Гальванометр	Нобили
1827 г.	Закон электрической цепи	Ом
1830 г.	Амальгамирование цинковых пластин в гальванических элементах	Стерджен
1831 г.	Электромагнитная индукция Первый униполярный электрический генератор	Фарадей Фарадей
1832 г.	Электромагнитный телеграф Первая магнитоэлектрическая машина	Шиллинг Пиксии
1833 г.	Закон о направлении индуцированного тока Установление обратимости генератора и двигателя	Ленц Ленц
1834 г.	Построение первого практически пригодного электрического двигателя	Якоби

Эрстеда, даже не первый в своем роде<sup>1</sup>, послужил начальным импульсом для целого ряда замечательных исследований, заложивших научные основы теории электричества.

Одним из первых практических результатов научных исследований явилось построение электромагнитов. В 1820 г. Араго по совету Ампера осуществил намагничивание стальной иглы, помещенной внутри соленоида, обтекаемого током. Этим опытом был продемонстрирован принцип электромагнита, а теория Ампера, рассматривавшая магнетизм как результат действия круговых электрических

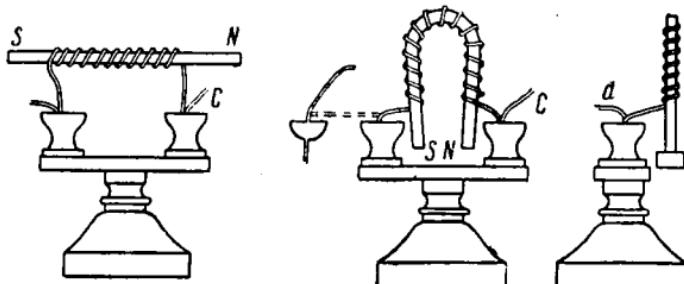


Рис. 1. Первые электромагниты У. Стерджена.

токов, позволила объяснить сущность процессов, происходящих в электромагните. Однако прошло около пяти лет, прежде чем современники Ампера и Араго пришли к мысли о практическом использовании замеченного учеными факта намагничивания железа током.

В 1825 г. англичанином У. Стердененом был создан первый электромагнит. Конструкция первых электромагнитов Стерджена дана на рис. 1. На стержень из мягкого железа, покрытый для изоляции лаком, наматывалась голая проволока. Эти электромагниты были маломощны, но в то время они произвели большое впечатление, ибо обладали неоспоримыми преимуществами перед распространенным тогда постоянными магнитами, так как могли производить значительно более сильный эффект, чем постоянные магниты.

Широкую известность в свое время получил мощный

<sup>1</sup> В различных источниках сообщается о наблюдении фактов взаимосвязи электричества и магнетизма: так, например, в книге профессора Болонского университета Альдини, что гальванизму (1804 г.) упоминается о профессоре химии в Генуе Д. Можоне, намагнившем стальную иглу током от вольтова столба, и о профессоре Пармского университета Д. Романьози, наблюдавшем отклонение магнитной стрелки под действием электрического тока.

электромагнит, построенный в 1831 г. американским физиком Дж. Генри и обладавший огромными размерами и значительной силой притяжения. Сердечник этого электромагнита весил около 59 фунтов (24 кг), якорь—25 фунтов (10 кг). На нем было намотано 728 футов (220 м) изолированной шелком проволоки. Подъемная сила магнита достигала почти одной тонны. Электромагнит Генри продемонстрировал всему миру, какие огромные возможности таит в себе это простое устройство. К построению и исследованию электромагнитов обратились многие ученые, в том числе и будущие конструкторы первых электрических машин — Риччи, Даль-Негро и другие. Б. С. Якоби построил большой электромагнит с диаметром сердечника  $1\frac{1}{2}$  дюйма (38 мм), весом  $14\frac{1}{2}$  фунтов (5,8 кг), с подъемной силой 600—800 фунтов (240—300 кг). Подчеркивая преимущества своего электромагнита, Якоби в то же время добавлял, что «... изготовить постоянный стальной магнит, который мог бы поднять 200—300 фунтов, является делом очень трудным. Так, знаменитый составной магнит, известный под названием «Knight Magazine» и хранящийся в Королевском институте, сам весит 500 фунтов и едва ли обладает сейчас большей подъемной силой, чем его собственный вес» [Л. 90, стр. 231].

Научные исследования электромагнитов и изучение открытых к тому времени законов электромагнетизма привели к созданию первых конструкций электрических двигателей. В 1821 г. Фарадей в результате ряда опытов обнаружил явление взаимного вращения магнитов и проводников с током. В развитие его работ были предложены различные схемы для достижения эффекта электромагнитного вращения. Известно, например, что в 1824 г. английский физик П. Барлоу построил прибор, представлявший собой небольшое стальное колесико, помещенное между полюсами магнита; при прохождении тока колесико приходило во вращение. Вероятно, что подобные опыты проводил не только Барлоу, опубликовавший их описание, но и многие другие ученые, занимавшиеся изучением замеченного Фарадеем взаимодействия. В 1824 г. работы Араго в области электромагнетизма увенчались открытием «магнетизма вращения»: им было обнаружено явление вращения магнитной стрелки при вращении расположенного над или под ней медного диска. Позднее это явление было положено в основу при разработке конструкций асинхронного двигателя.

## *Проблема электрического двигателя*

В первой половине XIX в. основным и самым распространенным в промышленности был паровой двигатель, который сыграл решающую роль в становлении машинного способа производства. Однако по мере расширения масштабов капиталистического хозяйства и роста темпов его развития все острее проявлялась необходимость в более гибкой и экономичной системе распределения энергии. Ставилась очевидной экономическая невыгодность и техническая нецелесообразность использования парового двигателя в целом ряде случаев: для привода отдельных мелких установок полукустарного типа, для привода системы станков и механизмов на фабриках и заводах (так как для этого была необходима громоздкая трансмиссия). Кроме того, паровой двигатель имел относительно низкий к. п. д., занимал большие производственные площади, был сложен и нетигиеничен в эксплуатации. Для работы парового двигателя было необходимо большое количество высокосортного минерального топлива, ограниченные запасы которого в отдельных странах и районах выдвинули задачу создания двигателя, способного работать на низкокалорийном топливе и водной энергии. Перечисленные обстоятельства со всей остротой выявились в последней четверти XIX в. в связи с высокой концентрацией монополистического производства.

В 1830-х годах, когда начинал свою деятельность в области электротехники Б. С. Якоби, недостатки парового двигателя с точки зрения требований промышленного привода постепенно начали вырисовываться и порождали попытки найти новый, более экономичный двигатель. Открытия в области электромагнетизма, которые были в центре внимания всего ученого мира, направили Б. С. Якоби, а вслед за ним американца Т. Девенпорта и изобретателей ряда других стран на разработку электрического двигателя.

До 1834 г. было создано несколько конструкций электрического двигателя. Однако изобретатели этих электродвигателей рассматривали свои конструкции прежде всего как наглядные физические приборы для демонстрации действия электромагнитных сил и лишь вскользь говорили о возможности их практического использования. Самые электродвигатели были такой примитивной конструкции, так несовершенны, что не могло быть и речи об их практическом использовании.

Первой по времени опубликования должна считаться работа американского профессора Дж. Генри. В 1831 г. в «The American Journal of Science and Arts» было помещено письмо ученого к редактору журнала, где он излагал принцип действия и конструкцию своего двигателя (рис. 2), в котором юромысло *ab* получало качательное движение вследствие попеременного притяжения полюсов *c* и *d* постоянных магнитов.

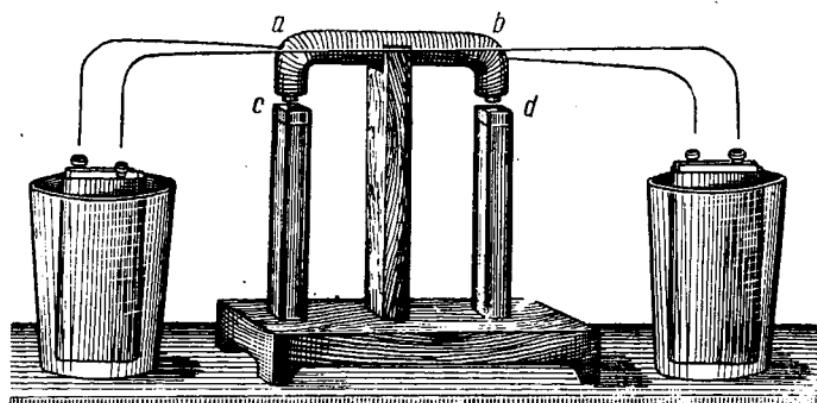


Рис. 2. Двигатель Дж. Генри.

Письмо начиналось следующими словами: «Сэр! Мне недавно удалось привести в движение небольшую машину силою, которая, я думаю, до сих пор не находила применения в механике: я говорю о магнитном притяжении и отталкивании. Я, однако, не придаю большого значения этому изобретению, ибо в теперешнем виде оно представляет только физическую игрушку. (Курсив мой — М. Б.). Однако не исключена возможность, что при дальнейшем развитии того же принципа в чистом или несколько измененном виде изобретение это может быть использовано для некоторых практических целей. Однако, безотносительно в практической ценности изобретения, оно настолько интересно с научной точки зрения как проявления нового эффекта одной из самой загадочных сил природы, что описание его достойно того, чтобы быть помещено на столбцах „Journal of Science“» [Л. 90, стр. 81].

В том же 1831 г. электромагнитный двигатель с качательным движением якоря между полюсами магнита конструирует итальянский профессор Даль-Негро (рис. 3), о чем он сообщает в статье, опубликованной в «*Atti dell'Academia di Scienze*», т. VI, и подробно описывает

в «Annals delle Scienze del Regno Lombardo-Veneto», 1834 г. Профессор Даль-Негро пишет: «Когда ум мой был полон мыслей об этом изумительном свойстве электромагнетизма (намагничивать железо — М. Б.), мне пришло в голову заставить магнитный стержень качаться между полюсами временного магнита, и вскоре я обогатил физику новым прибором, который даст возможность с величайшей легкостью видеть 1) как мягкое железо быстро намагничивается электромагнитными токами, 2) каким образом эта магнитная сила в один миг исчезает, покидая железо, и снова появляется, 3) как временные магниты при размагничивании производят живейшие искры, 4) наконец, как можно при помощи магнитного притяжений и отталкиваний одного или нескольких временных магнитов приводить в движение маятник, любую машину или поднять груз.

Итак, на машину, которую я теперь предлагаю вниманию общества, надо смотреть с двух различных точек зрения: во-первых, как на прибор или машину, которая с самого момента своего зарождения полезна в области физики, во-вторых, как на прибор, который может оказаться полезным также и в области механики». (Курсив мой — М. Б.) [Л. 90, стр. 117—118].

В 1833 г. в «Philosophical Transactions» была помещена статья английского ученого В. Риччи «Опытные исследования по электромагнетизму и магнитоэлектричеству», где он, описывая свои опыты, говорит о приборе (рис. 4), в котором ему удалось с помощью магнита (*NS*) получить вращательное движение железной полосы (*1—2*), обвитой проводником, по которому протекал ток. Свою установку Риччи даже и не называет электродвигателем; для него это прибор для иллюстрации свойств магнитов: «Самый поразительный результат, который был мною получен при изменении полюсов электромагнита, заключается в сообщении магниту вращательного движения вокруг его центра.

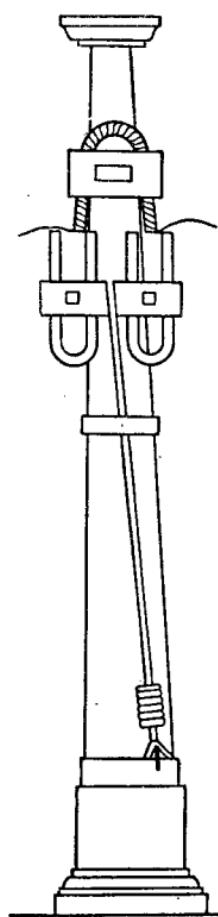


Рис. 3. Двигатель  
Даль-Негро.

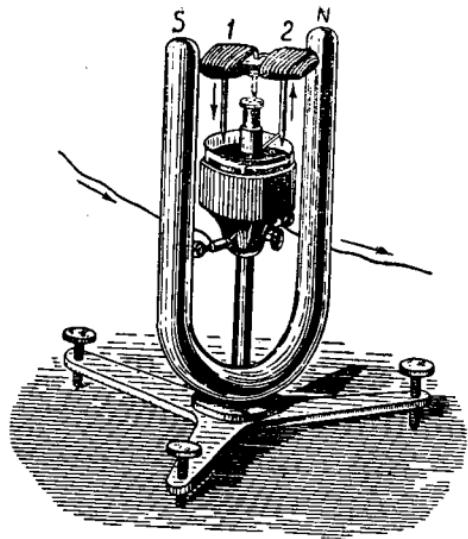


Рис. 4. Двигатель В. Риччи.

травляться как образец превосходного физического прибора». (Курсив мой — М. Б.) [Л. 90, стр. 316].

Изобретатель электромагнита У. Стерджен в 1836 г. в «The Annales of Electricity» дал описание электромагнит-

Следующее краткое описание магнита (прибора — М. Б.) покажет пути, по которым следует идти, чтобы построить такие же магниты большей мощности ...» [Л. 90, стр. 90] и далее идет описание этого устройства, конструкция которого очевидна из рисунка.

В 1839 г. американский электротехник Ч. Пейдж в обзорной статье «Об электромагнетизме как движущей силе» в «The American Journal of Science and Arts» писал о двигателе Риччи: «Это островерное и простое устройство будет всегда рассматри-

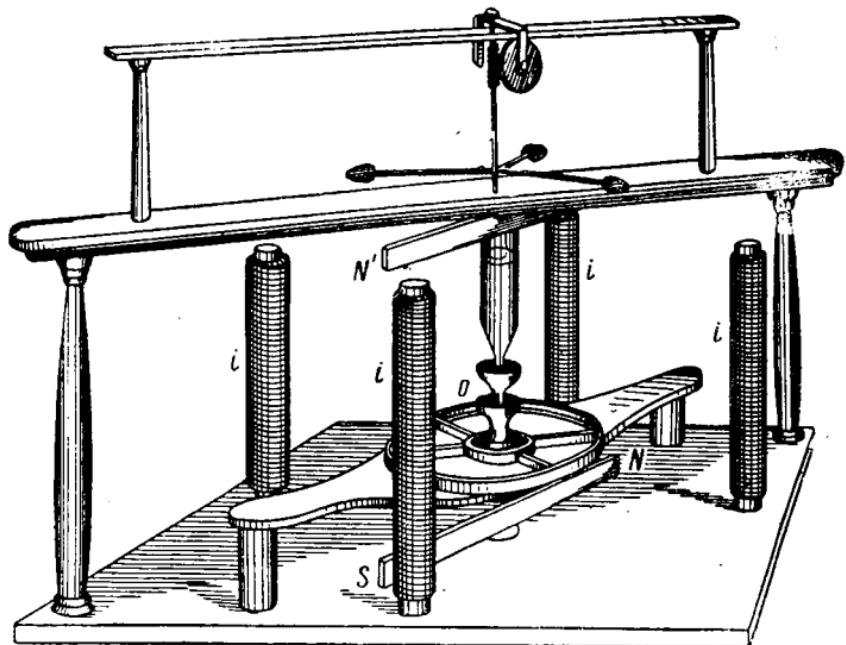


Рис. 5. Двигатель У. Стердженена.

ногого аппарата для приведения машин в движение, который, по его словам, он построил осенью 1832 г. и впервые демонстрировал в марте 1833 г. в Лондоне на лекции по электромагнетизму. Двигатель Стерджен (рис. 5) имел четыре электромагнита  $i$ , между которыми вращались постоянные магниты  $NS$  и  $N'S'$ .  $O$  — чашечки со ртутью, в которые опускаются концы обмоток электромагнитов. С помощью этого устройства происходит переключение направления тока.

«Несколько времени спустя, — пишет Стерджен, — я приспособил свою машину для движения вагонов по рельсам, для распиловки дров, для подачи воды и т. д. примерно в таком же масштабе, в каком эти работы производятся паровыми машинами...» [Л. 90, стр. 227]. Эти слова, которыми Стерджен заканчивает свою статью, вызывают серьезные сомнения в их справедливости. Машина Стердженена была с вращательным движением, но по своему конструктивному выполнению она по сути дела недалеко ушла от колеса Барлоу или прибора Риччи. Крайне нерациональное расположение магнитной системы, чрезвычайно сложная система переключения обмоток электромагнитов<sup>1</sup>, применение наряду с электромагнитами и постоянных магнитов, не говоря уже о прочих конструктивных трудностях, которые неминуемо должны были выявиться при переходе от модели к действующей машине, не могли обеспечить ни надежности действия, ни достаточной мощности для осуществления тех работ, о которых говорит Стерджен. Кроме того, в литературе тех лет, которая налету подхватывала все новое, связанное с электричеством, не встречается даже каких-либо упоминаний о таком использовании двигателя Стердженена. В статье профессора Алексан-

<sup>1</sup> Стерджен так описывает коммутатор своей машины: «Каждый ряд концов этих медных проволок (обмотка электромагнитов — М. Б.) припаин к толстому медному стержню; таким образом, концы 24 катушек собираются на восьми толстых стержнях; четыре из них соединяют концы проволок от нижних частей катушек и сами припаиваются к четырем металлическим квадрантам на попеччине. Остальные четыре стержня объединяют верхние концы катушки и получают соединение... с желобками на валу машины, частично заполненными ртутью. Сквозь боковые стенки желобков проходят по две металлические спицы, внутренние части которых находятся в контакте с ртутью, заполняющей желобки... От каждой спицы отходит проволока к своему квадранту на попеччине  $dd$ , что создает электрическую связь между квадрантами и ртутью в желобках, необходимую для передачи электрического тока от данной пластинки к другой, и следовательно, от одной катушки к другой по мере вращения машины» [Л. 90, стр. 225—226].

дера, помещенной в «Kunst- und Gewerbeblatt» 1841 г. [Л. 90], где описывается конструкция машины Стерджена, упоминается лишь о работах Стерджена с моделями различных устройств. В более поздних источниках, излагавших работы Якоби, Девенпорта и других и даже специаль-но касавшихся вопроса о приоритете в создании практического электродвигателя, имя Стерджена не упоминалось.

Таким образом, к 1834 г., когда Якоби впервые выступил с сообщением о построенном им электродвигателе, была высказана идея о возможности получения механической работы за счет электричества и осуществлены отдельные модели электродвигателя, имевшие характер приборов для демонстрации электромагнитных взаимодействий.

Как подошел к проблеме электродвигателя Якоби? Прямой ответ на этот вопрос дают слова самого Якоби из его «Заметок о применении электромагнетизма для приведения в движение машин» (1835 г.) [Л. 90].

«Великое открытие Эрстеда, сильно раздвинувшее границы физических наук, обещает дать новый толчок развитию прикладной механики...»

В мае 1834 г. я построил свой первый магнитный аппарат, дающий постоянное круговое движение...

...Я уже не говорю о крайней простоте магнитной машины с круговым беспрерывным движением, о конструктивных ее преимуществах и легкости превращения кругового движения во всякое другое, какого требует данная рабочая машина. Я с самого начала был проникнут этими мыслями, еще когда я не представлял себе, каким образом мне удастся осуществить свою машину; я тогда имел в виду практическое ее применение, и задача представлялась настолько важной, что я не хотел тратить силы на выдумывание игрушек с возвратно-поступательным движением (курсив мой — М. Б.), которые удостоились бы чести быть поставленными в один ряд с электрическим звонком в отношении их эффекта и еще больше в отношении производимого ими шума» [Л. 90, стр. 148, 150, 152].

Приведенные цитаты ясно показывают, что в отличие от своих предшественников Б. С. Якоби с самого начала работы ставил себе целью построение электродвигателя, пригодного для практики. Он первый сумел оценить преимущества, которые давало использование электромагнетизма для получения механической работы — прежде всего возможность непосредственно иметь вращательное движение на валу двигателя. В большинстве же первых кон-

структур электродвигателя, как было показано выше, имело место качательное движение, получаемое за счет притяжения и отталкивания железного сердечника электромагнита. С электромагнитом и с притяжением и отталкиванием проводников с током ученые освоились сравнительно быстро. Ведь история электричества знала подобные взаимодействия в статическом или «обыкновенном» электричестве, как его весьма выразительно называли в отличие от гальванического и индукционного. Кроме того, прямолинейное возвратно-поступательное движение было близко и

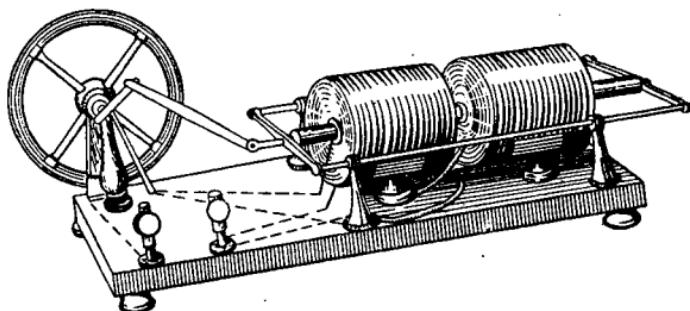


Рис. 6. Двигатель Пейджа.

понятно людям той эпохи, — на этом принципе работали господствовавшие в промышленности паровые двигатели. Поэтому и новый вид энергии — электричество долгое время пытались вкладывать в старую конструктивную форму. Это относится не только к Генри и Даль-Негро. И после того как электродвигатели с вращательным движением стали широко известны, различные изобретатели, будучи не в силах отказаться от привычных представлений, продолжали еще строить электродвигатели с возвратно-поступательным движением [Пейдж (рис. 6), Бурбуз (рис. 7), Кларк, Ботто]. И это вполне закономерно. Изучение истории материальной культуры показывает, что качественно новые объекты техники не сразу находят свое оптимальное конструктивное воплощение и, как правило, появляются вначале в старых конструктивных формах. Это обстоятельство было отмечено еще К. Марксом, который писал: что «...старая форма средства производства вначале господствует над его новой формой». Ярким примером здесь может служить история парохода и паровоза: первые изобретатели их долгое время направляли свою мысль на создание парохода, в котором паровой двигатель в буквальном смысле заменял гребцов, приводя в движение весла, и па-

ровоза, передвигавшегося механизмом, подражавшим движению ног лошади.

Б. С. Якоби, отвечая на претензии Даль-Негро по поводу авторства в изобретении электродвигателя, так расценивал задачу, стоявшую перед изобретателем электродвигателя:

«Нужно прямо сказать, что после великого открытия Эрстеда и опытов Стерджена, который, как мне кажется, первый добился сообщения мягкому железу сильного маг-

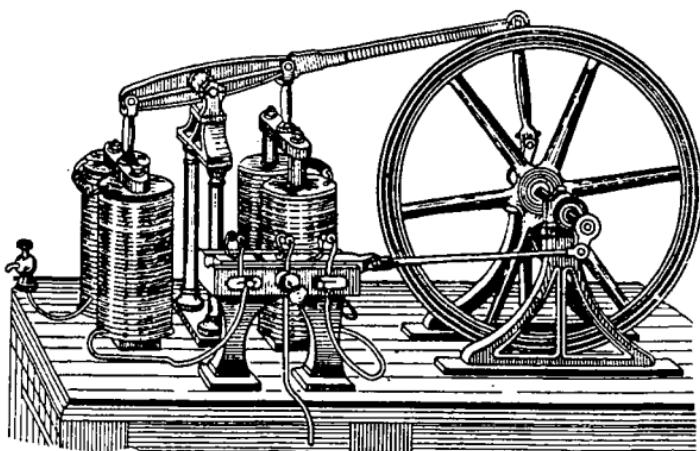


Рис. 7. Двигатель Бурбуза.

нетизма при помощи электрического тока, равно как и факт мгновенного уничтожения этого магнетизма или его перемены, как только прекращается ток или меняется его направление, — совсем не трудно было сделать вывод, что можно получить какое-то движение или какую-то механическую работу, используя электромагнитное возбуждение мягкого железа. В итоге пальму первенства следует отдать Эрстеду. Для нас же остается заслуга практического использования этой новой силы для нужд промышленности и жизни. Эта заслуга выпадает на долю того, кто лучше поймет механические и физические особенности нового двигателя» [Л. 90, стр. 149]. И безусловно, эта заслуга выпала на долю Б.С. Якоби. То, что не смогли понять и сделать учёные в тиши своих профессорских кабинетов, понял и сделал инженер, которого нужды производства, а не отвлеченные физические исследования, поставили перед необходимостью создания нового двигателя.

Первое сообщение об изобретенном двигателе Якоби сделал в ноябре 1834 г. Несомненно, что это сообщение завершало период напряженной работы над практическим решением задачи создания нового двигателя, что подтверждают и вышеприведенные слова самого изобретателя. Таким образом, Якоби приступил к работе по электромагнетизму в начале 30-х годов XIX в.

В сообщении Парижской академии наук 1834 г., кратко описав устройство своего двигателя, Якоби много внимания уделил выяснению конструктивных и экономических преимуществ созданной им машины перед паровым двигателем. В этом докладе, как и почти во всех своих сообщениях о работе над электрическими машинами, Якоби старается оценить их экономический эффект. Этого не делали его предшественники, что лишний раз подтверждает отсутствие практической направленности в их работах. Внимание Якоби к вопросам полезного действия двигателя важно еще и потому, что после первых попыток построить электродвигатель у очень многих деятелей того времени создавалось ложное представление о чуть ли не даровой механической работе, которую может давать электричество. Этим увлечениям отдал дань и Якоби, но, как будет показано ниже, после упорной работы над электродвигателем, он первый доказал несостоятельность этих иллюзий.

Описание конструкции первого электродвигателя Якоби встречается в упомянутом докладе 1834 г. и в его труде «Заметки о применении электромагнетизма для приведения в движение машин»<sup>1</sup> (1835 г.) [Л. 90].

Электродвигатель Якоби — это двигатель с вращательным движением рабочего вала. До этого были построены два электродвигателя (Риччи и Стерджена), в которых использовалось вращательное движение. Но, как очевидно, это были по сути дела не двигатели, а физические приборы. Именно так и воспринимали их современники. В ранее упоминавшейся статье профессора Александера, написанной в 1841 г. и специально посвященной истории электродвигателя, мы встречаем следующие слова: «Начиная с этого открытия (изобретения электромагнита — М. Б.), и стали появляться многочисленные электромагнитные вращающиеся аппараты, которые, однако, больше служили для доказательства возможности получения движения этим новым путем и отнюдь не предназначались для

<sup>1</sup> В дальнейшем для краткости эту работу Б. С. Якоби мы будем называть «Заметки».

практического применения... Первое реальное применение электромагнетизма, т. е. применение его к вращению машин, осуществил профессор Якоби в Петербурге (в то время бывший в Дерпте)».

При изучении различных сообщений Б. С. Якоби о его электродвигателе становится ясно, что к идее создания электродвигателя с вращательным движением он пришел в результате серьезного научного анализа процессов, происходящих при применении электромагнетизма для получения механической работы. Изучая электромагнитные явления и опираясь при этом на свои инженерные познания, Якоби вскоре понял всю нецелесообразность электрического двигателя с возвратно-поступательным или качательным движением. В § 2 «Заметок» он подробно показывает это.

Отправным пунктом в его расчетах было уравнение «живых сил». Ход его рассуждений в общих чертах сводился к следующему:

Как и для любого двигателя, для электродвигателя имеет место уравнение «живых сил»:

$$\sum_0^a Mds - \sum_0^{a'} Pds = \sum mv_1^2 - \sum mv_0^2,$$

где  $m$  — масса двигателя;

$v_0$  — начальная скорость;

$v_1$  — конечная скорость движения;

$\sum_0^{a'} Pds$  — работа, совершаемая приводимым в движение механизмом.

$\sum_0^a Mds$  Якоби определяет как «магнитное действие

в течение промежутка  $a$ ». Что следует понимать под этим выражением? Вращение электродвигателя осуществляется за счет притяжения и отталкивания электромагнитов. Следовательно, «магнитное действие» в электродвигателе — это взаимодействие магнитных полюсов. Якоби было известно, что сила взаимодействия магнитов зависит от расстояния.

Если в интеграле  $\int_0^a Mds$  принять, что  $M$  — это сила, с которой действуют друг на друга два магнитных элемента, то  $Mds$  будет выражением элементарной работы на

пути  $ds$ , а  $\int_0^a Mds$  — полная работа, которая совершается при перемещении от 0 до  $a$  под действием электромагнитных сил.

На основании того, что магнитное притяжение является функцией квадрата расстояния, Якоби приходит к заключению, что при электромагнитных взаимодействиях будет возникать ускоренное движение, что, на его взгляд, и является их характерной особенностью. Исходя из этого, ученый считает, что если сила магнитного притяжения вызывает ускоренное движение, то кинетическая энергия двух сближающихся магнитов будет непрерывно возвращаться. Максимум ее будет в момент наибольшего сближения взаимодействующих магнитных точек (например, полюсов магнитов). Но как раз в этот момент, в силу особенностей конструкции электрических машин с качательным или с возвратно-поступательным движением<sup>1</sup> (см., например, рис. 2), происходит толчок, потеря скорости, и кинетическая энергия системы  $\Sigma mv_1^2 - \Sigma mv_0^2$  становится равной нулю. Такая непроизводительная потеря энергии делает электромагнитную машину с возвратно-поступательным движением совершенно непригодной для практики. Различные механические приспособления для некоторого улучшения работы такого двигателя Якоби категорически отвергает, ссылаясь на практику машиностроения. Здесь же, обращаясь к истории парового двигателя, Якоби отмечает, что именно «гениальная мысль Уатта прервать подачу пара раньше, чем поршень дойдет до конца своего хода, чтобы после отсечки пар продолжал работать своим расширением обеспечила эффективность действия паровой машины». Серьезным фактом против двигателей с прямолинейным перемещением движущихся частей было подмеченное Якоби в ходе многочисленных опытов явление изменения магнитных свойств железа от толчков и сотрясений.

Итак, Якоби было показано, что электродвигатель с качательным или возвратно-поступательным движением является нерациональной конструкцией, так как «живые

<sup>1</sup> Следует иметь в виду, что 1) при анализе подобных электрических двигателей Б. С. Якоби мог ориентироваться на двигатели, построенные в 1834—1835 гг., т. е. двигатели Генри, Даля-Негро; 2) как известно из хода рассуждения Якоби, он рассматривал двигатель с возвратно-поступательным движением без учета наличия шатунно-кривошипного механизма.

силы» в нем уничтожаются в момент их наибольшего значения, что приводит к бесполезной потере энергии. Как избежать этих потерь? Техническая эрудиция позволяет Якоби решить этот вопрос. «Способ сохранения живых сил надо искать в самой природе сил», — заключает он [Л. 90, стр. 151].

«Природой» электромагнитных взаимодействий по Якоби является способность развивать ускоренное движение. Достаточно полно реализовать это свойство может только система с непрерывным движением, т. е. вращательная. Получить в электромагнитном устройстве вращательное движение вполне возможно, так как необходимая для этого смена полюсов электромагнитов происходит мгновенно.

Силами, препятствующими ускоренному движению такой машины, как предполагал Якоби, могут быть не только силы трения в подшипниках и сопротивление воздуха, которые при соответствующем конструктивном оформлении двигателя можно свести к незначительной величине. Уже тогда Якоби понимал, что решающими для установления равновесия в электродвигателе является не действие внешних сил сопротивления, а электромагнитные процессы, происходящие в электрическом двигателе.

Сущность электромагнитных процессов во вращающемся двигателе на первом этапе своей работы Якоби выяснить еще не мог, поэтому он исходил из предположения, что если даже вращению машины противодействуют значительные силы, то они все же не настолько велики, чтобы существенно ограничить развивающиеся мощности в системе с ускоренным движением. Следовательно, вращающаяся электромагнитная машина может дать высокий «экономический эффект», т. е. электродвигатель будет пригодным для целей практики.

В 1837 г. в письме к министру просвещения Б. С. Якоби писал об этой стадии своих исследований: «Казалось самым легким использовать магнитное притяжение и отталкивание для получения поступательного и возвратного движения механизма, который передавал бы его другим частям, как это имеет место в паровой машине. Этим и ограничились усилия многих лиц, в том числе первоначально и мои... Затем, однако, исходя из столь важного для машин уравнения живых сил и опираясь на все предшествовавшие исследования... я получил возможность выработать на этот вопрос новый взгляд, который не только представлялся поразительным, но и, будучи основан на неопровергнутом

жимых законах движения, был подтвержден в июне 1834 г. публичными опытами (курсив мой — М. Б.)... Этот мой новый взгляд, а также и результаты опытов, я впервые сообщил Французскому институту в заметке, которая была напечатана в № 82 его Известий; она обеспечила мой приоритет и к тому же послужила основанием для изысканий других ученых Италии и Англии—она указала на направление, по которому надо было идти в этом вопросе» [Л. 90, стр. 233].

Таким образом вопрос о характере движения электрической машины был решен в пользу вращательного движения. Б. С. Якоби первый нашел правильное сочетание нового технического содержания с новой же конструктивной формой. Выводы Якоби для современников действительно представлялись поразительными: к «тайной», «невъяснимой», «чудесной» силе—электричеству, над использованием которого для получения механической работы только что начали робко экспериментировать, молодым инженером были смело приложены известные законы механики и на основании этого получены точные и ясные результаты.

### *Первый двигатель Б. С. Якоби*

Идея о двигателе с вращательным движением была воплощена Б. С. Якоби в конструкцию, представленную на рис. 8. Чертеж взят из «Заметок...».

Принцип действия двигателя основывается на взаимном действии полюсов электромагнитов подвижного и неподвижного дисков. Рассмотрим для примера позицию 1 рис. 9, где дано схематическое изображение двигателя:  $O$ —подвижный диск;  $t$ —неподвижный;  $N_1$ ,  $S_1$ ,  $N_2$  и  $N'_1$ ,  $S'_1$ ,  $N'_2$ —полюса электромагнитов соответственно подвижного и неподвижного дисков (обмотка электромагнитов, чтобы не усложнять рисунок, не показана). Ход силовых линий для полюсов  $N_1^*$  и  $N'_1$  дан в первом приближении без учета потоков рассеяния.

Перед запуском двигателя подвижный диск проворачивается до тех пор, пока не окажутся друг против друга одноименные полюсы.

В результате начального толчка, даваемого машине извне, полюс  $N_1^*$  будет отходить от  $N'_1$ . По мере продвижения полюса начнет проявляться сила притяжения как следствие взаимодействия полей полюсов  $N_1^*$  и  $S'_1$  (позиция

П рис. 9). Под действием сил отталкивания и притяжения на полюс  $N_1^*$  подвижный диск повернется до положения, когда полюс  $N_1^*$  станет против  $S_1'$ . В этот момент (строго говоря, в момент, когда силой инерции  $N_1^*$  несколько пройдет  $S_1'$ ) специальным устройством—коммутатором—производится переключение полюсов батарей. По обмотке

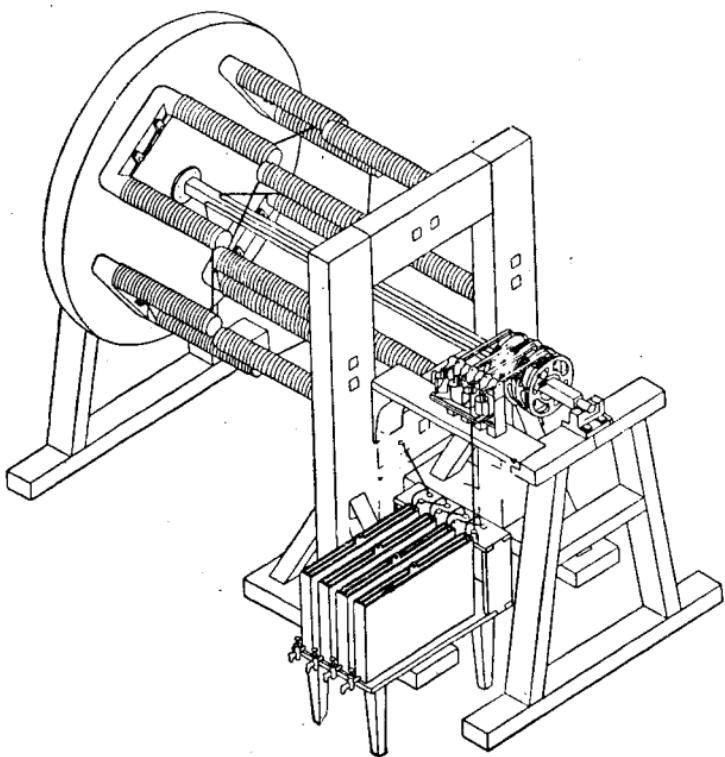


Рис. 8. Двигатель Б. С. Якоби (1834 г.).

электромагнитов подвижного диска пойдет ток обратного направления, вследствие этого изменится полярность электромагнитов подвижного диска, вновь осуществляется отталкивание, но уже теперь  $S_1^*$  и  $S_1'$  и т. д. Такой же процесс происходит и при взаимодействии остальных электромагнитов, установленных на дисках. Благодаря этому, а также наличию силы инерции, которые поддерживают непрерывность вращения, машина получает равномерное движение.

Конструкцию своего двигателя Якоби так описывает в докладе Парижской академии наук 1834 г.: «Аппарат состоит из двух групп по 8 стержней мягкого железа, длиной по 8 дюймов и толщиной в 1 дюйм. Обе группы стержней располагаются на двух дисках под прямым углом и симметрично одна по отношению к другой таким образом, чтобы полюса приходились один против другого. Один из дис-

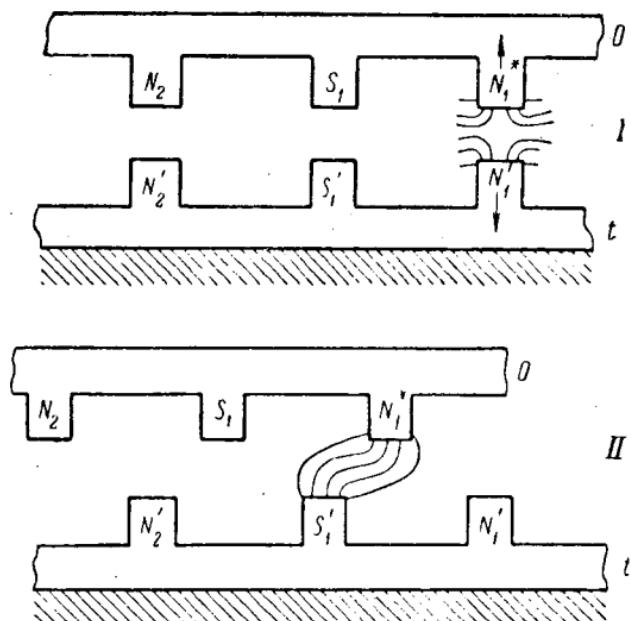


Рис. 9. Схема взаимодействия магнитов в двигателе Б. С. Якоби.

ков неподвижен, а другой вращается вокруг некоторой оси, благодаря чему группа подвижных стержней проходит мимо группы неподвижных на возможно более близком расстоянии от них. Все 16 стержней обмотаны 320 футами медной проволоки толщиной в одну с четвертью линий; концы обмоток соединяются с полюсами гальванической батареи. Масса вращающейся со скоростью шести футов в секунду части машины доходит до 50 фунтов, что дает весьма значительную живую силу. Полезная работа этого аппарата, измеренная прибором, аналогичным тормозу Прони, эквивалентна работе поднятия груза в 10—12 фунтов на высоту 1 фут в секунду. Успешная работа этой машины обусловлена удачной конструкцией *жиротропа* или коммутатора, осуществляющего перемену полюсов восемь раз

за один оборот, т. е. восемь раз в  $1/2$  или  $3/4$  секунды (обычная скорость вращения машины), если раствор батареи состоит из слабо подкисленной воды, при которой едва заметно выделение газа» [Л. 90, стр. 111].

На основании данных этого доклада, а также «Заметок» параметры первого двигателя Якоби можно свести в следующую таблицу.

Таблица 2

Конструктивные элементы и параметры двигателя 1834 г.

Магнитная система;

а) сердечники электромагнитов

16 штук, материал—мягкое железо; изоляция—шелковая материя.

Длина  $l = 7''$  (178 мм)

Диаметр  $d = 1''$  (25,4 мм)

Материал—медьная проволока

$l_{\text{провод}} = 320$  футов (96 м)

$d_{\text{провод}} = 1\frac{1}{4}$  линии (3,17 мм)

б) обмотка электромагнитов

Воздушный зазор

Величина воздушного зазора  
 $\delta = 1\frac{1}{2}''$  (12,7 мм)\*

Частота изменений полярности

8 раз за 1 оборот

Число оборотов двигателя

$n = 80-120$  об/мин

Окружная скорость подвижного диска

$V = 6$  фут/сек (1,8 м/сек)

Вес подвижной части

$G = 50$  фунтов (20 кг)

Мощность двигателя

Эквивалентна поднятию груза в 10—12 фунтов на высоту 1 фут в сек

$$P = \frac{4,8 \cdot 0,3}{75} = 0,02 \text{ л. с.} = 15 \text{ вт}$$

\* Б. С. Якоби в первом сообщении о двигателе (1834 г.) и в «Заметках» указывает, что воздушный зазор должен быть возможно меньше, но цифровых данных не дает. Приведенное значение  $\delta$  почерпнуто из статьи проф. Александера [Л. 90].

В 1838 г., начиная свою работу «О законах электромагнитов» [Л. 45], Якоби и Ленц писали, что основной причиной, побудившей их взяться за этот труд, является полная неизученность законов, которыми должно определяться построение электрических машин. Конструкторы электродвигателей руководствовались единственно данными опыта, шли ощупью, а поэтому параметры машин как кон-

структуривные, так и в отношении получаемой мощности во многом были случайными. Это относится и к двигателю Якоби. В этом отношении Якоби был ограничен уровнем знаний своей эпохи. В работе «О теории электромагнитных машин», опубликованной в 1850 г., Якоби писал: «Когда приблизительно 16 лет тому назад я начинал свои работы, о законах электромагнитов вовсе ничего не знали, и электромагнитные машины можно было строить только ощущением» [Л. 102]. Но необходимо добавить, что последующие исследования Б. С. Якоби, а также совместные с Э. Х. Ленцем труды по теории электромагнетизма значительно подняли этот уровень знаний и помогли подойти к решению ряда вопросов построения электрических машин.

Несмотря на то, что по конструктивной форме двигатель Якоби модели 1834 г. был только первым шагом на пути к практическому электродвигателю, идеи, в нем заложенные, оказались исключительно плодотворными как для дальнейших работ Якоби, так и для развития электротехники.

Выше мы показали, что Якоби впервые сознательно (а не повторяя лабораторные эксперименты с электромагнитным вращением) построил двигатель с вращательным движением, доказав его преимущества. Как известно, с тех пор все электрические машины строятся только с вращательным движением якоря.

В этой же конструкции Б. С. Якоби первым отказался от постоянных магнитов; в электродвигателях, предложенных ранее Якоби, и даже несколько позже его (двигатели Ботто, Девенпорта) использовались электромагниты в комбинации с постоянными магнитами.

К мысли построить электрический двигатель с применением одних только электромагнитов Якоби пришел не случайно. Как мы указывали выше, Якоби ясно понимал преимущества электромагнитов перед постоянными магнитами в смысле развиваемых сил притяжения. В результате ряда опытов над постоянными магнитами им было обнаружено явление размагничивания постоянных магнитов при сотрясениях и ударах, что безусловно говорило не в пользу их установки на электродвигателях. Зная об этих двух обстоятельствах и имея в виду двигатель для практических целей, т. е. мощный двигатель, Б. С. Якоби и остановился на электромагнитах.

После Якоби многие конструкторы электромашин все же продолжали применять постоянные магниты. Только

к началу 1850-х годов, после того, как недостатки электрических машин с постоянными магнитами, многие из которых подметил еще в 1830-х годах Б. С. Якоби, были наглядно подтверждены на практике, постоянные магниты были заменены электромагнитами. В настоящее время постоянные магниты для создания основного поля используются только в некоторых специальных типах электромашин, в подавляющем же большинстве случаев употребляются электромагниты.

В двигателе Якоби блестящее по тому времени конструктивное разрешение получил вопрос перемены направления тока в обмотке электромагнитов, т. е. вопрос коммутации.

В различных электромагнитных устройствах единственным и распространенным коммутатором в те годы было так называемое коромысло Ампера или различные видоизменения его. Коммутатор Ампера представлял собой устройство с коромыслом-дугой, кинематически связанное с валом двигателя. При движении вала коромысло то одним, то другим плечом погружалось в чашечки со ртутью, производя переключения полюсов батареи и обмотки электромагнитов.

Ртуть считалась в то время универсальным средством для обеспечения хорошей коммутации. Твердых металлических контактов тогда еще не применяли. Неизученность процессов, происходящих при размыкании и замыкании цепи, приводила к тому, что на ртуть смотрели не как на среду, обеспечивающую прочный контакт, а как на активный агент, который якобы увеличивает силу тока.

В двигателях Генри, Риччи, Даль-Негро, Стерджена, Ботто в коммутаторе употреблялась ртуть. При работе машины ртуть разбрзгивалась, переливалась через край сосуда, и даже в лабораторных условиях не обеспечивалась надежность действия устройства. В сообщении Парижской академии наук о генераторе Пиксии так описывались неудобства коммутатора: «При первых испытаниях этого приспособления (коммутатора), коромысло погружалось попеременно в корытца, наполненные ртутью, как в коромысле Ампера, но при этом оказалось, что при быстром вращении магнита ртуть получала такие толчки, что выбрасывалась наружу» [Л. 20, стр. 47].

В двигателе для практических целей употреблять коммутаторы в виде коромысла или подобные им не представлялось возможным также и вследствие сильного искрения.

О том, как себе представлял задачу коммутатора Якоби, он говорит в § 6 своих «Заметок»: «Перемена полюсов имеет чрезвычайно большое значение. Перемена эта должна осуществляться мгновенно и как раз в том месте, где полюсы располагаются один против другого. Механизм, производящий перемену полюсов, должен приводиться во вращение самим прибором, причем в нем не должно быть ни одного элемента, который не зависел бы чисто геометрически от вращения системы. Скорость вращения, как бы велика она ни была, не должна оказывать на этот механизм никакого влияния» [Л. 90, стр. 156].

О коромысле Ампера со всеми его недостатками Якоби знал. Отчетливо он представлял и сложность использования ртути—прилипание частиц жидкости к металлическому проводнику при быстром опускании и поднимании его, окисление ртути при искрении. Со ртутью Якоби много экспериментировал, изучая ее свойства. Это позволило ему показать неправильность существовавшего мнения, что контакт через ртуть увеличивает «энергию тока», о чем заключали по усилению искры при разрыве цепи. Таким образом, он помог выяснить еще один факт, важный для электротехники того времени. Эти же опыты привели Якоби к заключению о возможности осуществлять контакт непосредственно трущимися металлическими поверхностями, что он и использовал в своем коммутаторе. В нем Якоби вовсе от ртути не отказался, но ртутные контакты не участвовали активно в процессе размыкания и замыкания тока, а выполняли вспомогательную роль, находясь все время в замкнутом положении.

Коммутатор Якоби, общий вид которого виден на рис. 8, а детали на рис. 10, состоит из четырех медных дисков, соединенных попарно медными трубками *ff* и закрепленных на оси посредством втулки *g* из лакированного дерева (или другого изолирующего материала). Диски по окружности разделены на восемь частей. Четыре из них—*h*—представляют собой деревянные бруски, вставленные в соответствующие выемки на ободе медных дисков. Поверхность ободов дисков ровная, полированная. По ней скользят медные рычаги *zz* и *cc* («щетки»). Короткое плечо их опущено в чашечки со ртутью *kk*, которые соединены попарно друг с другом и с гальванической батареей. К дискам подведены концы обмотки электромагнитов подвижной системы *l* и *m*.

Принцип действия коммутатора заключается в следую-

щем. Диски, насаженные на вал двигателя, вращаются вместе с ним. По ободу дисков скользят металлические рычаги, которые, попадая на непроводящую часть диска, прерывают электрическую цепь, а при соприкосновении с металлом замыкают ее. Расположение дисков таково, что в тот момент, когда встречаются разноименные полюса, контактные рычажки переходят через грань дерево—металл и этим меняют направление тока в обмотке электромагнитов. На рис. 11 дана принципиальная электрическая схема работы коммутатора. Обозначения использованы те же, что и на рис. 10. Обмотки электромагнитов подвижного диска, ко-

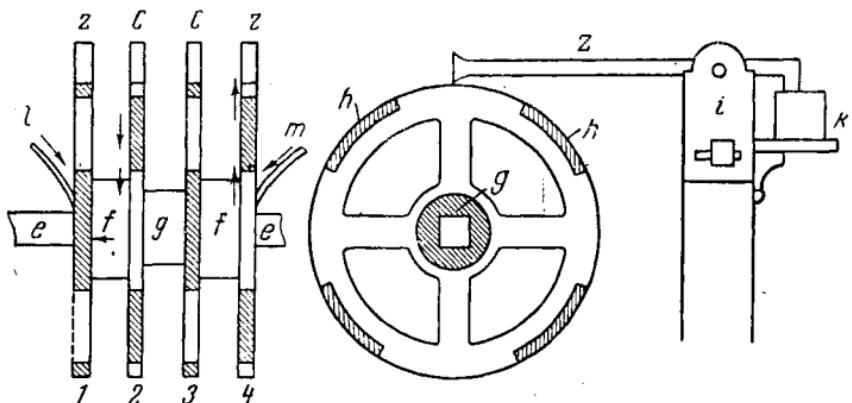


Рис. 10. Коммутатор двигателя Б. С. Якоби.

торые соединены друг с другом последовательно, представлены сопротивлением  $or$ , обмотки неподвижных электромагнитов, также соединенные последовательно,—сопротивлением  $st$ . Позиция I рис. 11 соответствует моменту, когда рычажки  $zz$  стоят на металлических частях дисков  $b$  и  $d$  и на непроводящих частях дисков  $a$  и  $c$ . Позиция II соответствует следующему моменту, когда рычажки  $zz$  перешли на непроводящие части дисков  $b$  и  $d$  и на проводящие дисков  $a$  и  $c$ . Переключения, происходящие при этом, очевидны из рис. 11 и не требуют дополнительных пояснений.

Конструкция коммутатора Якоби в сравнении с тем, что было до него, представляет зрелое и технически целесообразное устройство. Оно обеспечивало согласованное и четкое взаимодействие электрической части машины, автоматическое переключение полюсов электромагнитов и надежность работы. Вместе с тем Б. С. Якоби видел трудности, возникающие при осуществлении коммутационного процесса, и прежде всего искрение на коммутаторе. В фев-

рале 1839 г., в письме к непременному секретарю Петербургской академии наук П. И. Фуссу [Л. 103] (письмо было написано Якоби в защиту своих прав на первенство в изобретении вращающегося коммутатора), он, в частности, говорит, что возникновение «вольтовых дуг» при коммутации является серьезной помехой в работе двигателя и что этот недостаток ему удалось преодолеть только частично. К сожалению, по имеющимся документам не удалось уста-

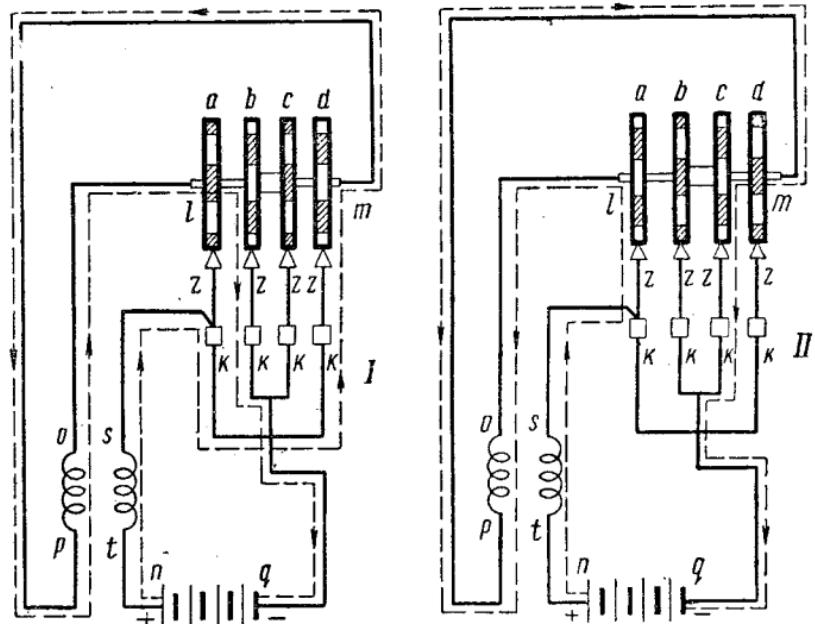


Рис. 11. Электрическая схема коммутационных переключений в двигателе Б. С. Якоби.

новить, каким путем шел Якоби в решении этой важнейшей для электромашиностроения проблемы.

Преимущества принципа действия и конструктивного оформления коммутатора Якоби, особенно ярко выступавшие в сравнении с различными ртутными коммутаторами типа коромысла Ампера, были очевидны. Сразу же после выхода в свет «Заметок» «Poggendorf's Annalen der Physik und Chemie», 1835 г., т. 36 и «Dingler's polytechnisches Journal» В. 60 поместили специальное сообщение о коммутаторе Якоби. Писали о двигателе и коммутаторе Якоби «The Annales of Electricity», «Magnetism and Chemistry» и др. В России первые сообщения об электродвигателе Якоби появились в «St.-Petersbourg Zeitung», № 205, 1834 г. и № 17, 1836 г. Работы Якоби стали широко известны. Уче-

ные различных стран начинают устанавливать коммутатор Якоби в создаваемых ими электрических машинах, в опытных двигательных установках. Конструктор одной из моделей электродвигателя Ф. Локки сообщал в «The Annales of Electricity», 1838 г., vol. III: «Для моей машины я применил коммутатор Якоби, описанный в первом томе (ваших «Анналов») с некоторыми изменениями формы, благодаря которым обеспечивается большая симметрия вида и одинаковая надежность в работе» [Л. 90, стр. 308].

Коммутатор Якоби использовал Э. Х. Ленц при своих опытах над электрическими машинами, приведших к открытию обратимости генератора и двигателя. В 1840 г. Ленц писал: «В первой из магнито-электрических известных машин—машине Пиксии—я заменил коммутатор Ампера под названием баскуло (*bascula*), вращающимся коммутатором проф. Якоби, который гораздо удобнее при всех вращательных движениях...» [Л. 44].

Д. Джоуль в созданном им в 1839 г. электродвигателе устроил коммутатор типа коммутатора Якоби, т. е. с вращающимися дисками и трущимися контактами.

Дальнейшее развитие электрических машин усилиями многих ученых и изобретателей привело в части коммутирующего устройства к коллектору и щеткам, которые представляют собой развитие принципов вращающегося коммутатора Якоби. Таким образом, впервые в истории электротехники Якоби воплотил в своем двигателе прогрессивные для построения электрических машин идеи о вращательном движении, об использовании электромагнитов в подвижной и неподвижной частях машины и применил изобретенный им вращающийся коммутатор с трущимися контактами.

## *Работы над практическим использованием электродвигателя*

С конструктивной точки зрения двигатель Якоби был, конечно, несовершенен. Но тем не менее это была лучшая конструкция для 1834 г. Поэтому современники возлагали на него большие надежды в смысле практического использования. Преимущества своего электродвигателя перед существовавшими двигателями, и прежде всего паровыми, Якоби видел в сравнительной простоте конструкции—отсутствие цилиндров, поршней, вентиляй и т. п. деталей, требовавших точного выполнения. Несложность изготовления

электродвигателя должна была, по мнению ученого, обеспечить его дешевизну, а сведение к минимуму количества труящихся частей — уменьшить его износ в процессе эксплуатации. Вращательное движение на валу, облегчавшее передачу движения к исполнительному механизму, бесшумность и безопасность работы также являлись достоинством электродвигателя. Кроме того, Якоби предполагал, что если использовать в различных технических производствах химические продукты, получающиеся при работе гальванической батареи, то можно будет свести к минимуму и эксплуатационные расходы.

В оценке перспектив внедрения электрического двигателя в практику Б. С. Якоби, также как и многие в его время, был склонен к преувеличенным надеждам. Определенные и довольно серьезные недостатки паровой машины, на которых правильно фиксировал внимание Якоби в своем докладе Парижской академии наук в 1834 г., были существенны главным образом при использовании ее для привода установок, преимущественно незначительной мощности. Однако эти недостатки парового, равно как и преимущества электрического двигателя рассматривались ученым как нечто абсолютное в отрыве от конкретных условий применения того или другого двигателя. Поэтому несомненные достоинства теплового двигателя как мощного первичного двигателя, широко применяемого до настоящего времени, не были учтены Якоби. Что касается места электродвигателя в энергетической цепи источник энергии — потребитель, то правильно определить его на заре электротехники вряд ли представлялось возможным. И только позже, к концу XIX в., когда концентрация промышленности поставила задачу энергоснабжения огромного числа отдельных станков и агрегатов и вытекающую отсюда задачу экономичной системы распределения энергии, четко определилась роль электродвигателя как вторичного двигателя, непосредственно приводящего в действие исполнительные механизмы.

Б. С. Якоби был твердо убежден в возможности использования электрического двигателя для привода самых различных установок: «С одинаковой легкостью она (электрическая машина — М. Б.) может быть использована для приведения в действие мельницы, лодки или локомотива», — писал он в 1837 г. [Л. 90, стр. 237].

Будучи серьезным ученым и инженером, Б. С. Якоби понимал, что его работа — это только начало, что двигатель

промышленного типа надо создавать, имея определенный фундамент теоретических знаний о самом двигателе. Промышленный двигатель надо было строить не вслепую, а рассчитав по заданной мощности его конструктивные параметры, т. е. создавать двигатель такой, какой нужен, а не такой, какой получится. В упоминавшемся выше письме к министру просвещения (1837 г.) Якоби фактически на бросал план научных исследований, которые надлежало выполнить для изучения проблем, связанных с построением электродвигателя. Б. С. Якоби считал необходимым на первое время изучить: какова наибольшая величина «магнетизма», возбуждаемого в мягком железе, какой силы и конструкции (размеры стержней и обмотки) должны быть взяты электромагниты, как зависит величина мощности, развиваемой двигателем, от силы гальванической батареи, какой конструкции и основных размеров должна быть гальваническая батарея. Ученыйставил задачу установить, какими параметрами определяется мощность двигателя и каким образом может быть произведен ее расчет.

Решение перечисленных задач имело большое значение не только для конструирования двигателя, но и для обогащения науки новыми данными. На это обстоятельство Б. С. Якоби обращал внимание министра, излагая ему просьбу финансировать работы по созданию практически пригодного электродвигателя.

Условия для построения двигателя больших размеров, для практического его использования и для развертывания научных работ по теории электрических машин Б. С. Якоби получил с образованием «Комиссии, учрежденной для производства опытов относительно приспособления электромагнитной силы к движению машин по способу профессора Якоби», т. е. после переезда в Петербург в августе 1837 г.

Идея Якоби о создании электрического двигателя для промышленных целей привлекла внимание изобретателей различных стран. В 1835 г. голландцы Стратинг и Беккер пытаются применить построенный ими двигатель для привода повозки. «Изготовленная г. Якоби электромагнитная машина для получения движущей силы,—пишут авторы в „Polytechnische Journal“, 1836 г., В 61,—побудила нас попытаться применить ранее сделанное нами изобретение в области электромагнетизма для той же цели и попытаться показать подходящее применение этой новой двигательной силы» [Л. 90, стр. 210].

В 1836 г. профессор Коллан построил вагон, приводимый в действие электродвигателем<sup>1</sup>. В 1838 г. американец Девенпорт демонстрировал в Лондоне модель «электромагнитного локомотива».

В 1840-х годах, когда сам Якоби уже отошел от работы над электродвигателем, показав, что она бесполезна впредь до создания нового экономичного источника электрического тока, изобретатели продолжали строить различные двигатели. В 1842 г. в «Literary Gazette» было опубликовано сообщение, что голландский чиновник Элиас построил новый электродвигатель для практических целей. «Основной целью изобретения,— писала газета,— было устранение недостатков остроумного изобретения Якоби из Петербурга (в 1839 г.), которые обусловили провал его машины в практическом отношении» [Л. 90, стр. 461]. Далее идет описание двигателя Элиаса, который в дальнейшем никакого распространения не получил. В 1840 г. У. Кларк, а в 1842 г. Девидсон построили: первый — «электромагнитный локомотив—экипаж», второй — «электромагнитный локомотив—повоzку». Электродвигатели установок питались от тальванических батарей, что и определило их судьбу. К тому же двигатель Кларка был с возвратно-поступательным движением.

Правительства крупных государств, отражая заинтересованность в новой технике развивающейся капиталистической промышленности, обращают свое внимание на работы в области построения электродвигателей, пригодных для практических целей. Двигатель Девенпорта, например, специально демонстрируется президенту США и министрам. В 1850 г. адмиралтейство США отпустило крупную сумму профессору Пейджу для проведения работ над созданной им конструкцией электродвигателя в расчете использовать его во флоте. «Изобретение это, разглашенное не без преувеличения американскими журналами, на-делало тогда много шума в Европе,— писал «Морской сборник» в 1861 г.,—... но оно не явилось ни на деле, ни в европейских портах победителем паров после состязания через океан, как о сем предвещали американские журналы...»

Германское Союзное правительство в начале 1840-х годов ассигнуует значительные средства и широко рекламирует работу над электродвигателем некоего франкфурт-

<sup>1</sup> Описание конструкции двигателя и всего устройства в литературе встретить не удалось.

ского торговца Филиппа Вагнера, который, как позже оказалось, выдавал за свое изобретение двигатель Якоби<sup>1</sup>.

При таком повышенном интересе к проблеме электрического двигателя не удивительно, что и русское правительство покровительствовало работам Б. С. Якоби, снискавшим к тому времени широкую известность.

С трудами Якоби по электромагнетизму были знакомы выдающиеся ученые. В 1834 г. при опытах с двигателем Якоби присутствовал член Петербургской академии наук знаменитый естествоиспытатель и географ-путешественник Карл Максимович Бэр. Он, а также бывшие вместе с ним на испытании Бессель и Гумбольдт, «высказали мне, — как вспоминал Якоби, — свое одобрение и тем поддержали во мне мужество» [Л. 90, стр. 233]. Высоко оценивали талант и достижения Б. С. Якоби В. Я. Струве, П. Л. Шиллинг. По их настоятельной рекомендации влиятельнейшие сановники того времени министр просвещения и президент Петербургской академии наук граф Уваров и министр финансов Канкрин убедили царя в июле 1837 г. подписать приказ об образовании «Комиссии для производства опытов относительно приспособления электромагнитной силы к движению машин по способу профессора Якоби», а Б. С. Якоби был вызван для работ в Петербург.

Чем руководствовалось окружение Николая I в решении этого вопроса? Увидев на Западе большой интерес к электрическому двигателю и обнаружив, что «свой» дерптский профессор принципиально разрешил проблему электродвигателя и признается всей Европой первым в этом деле, царские сановники решили поддержать труды Якоби, имея в виду прежде всего военные цели. Вот те слова, в которых «просвещенный покровитель науки» Уваров докладывал царю о желательности такой поддержки: «Открытие или... приложение новой силы... электромагнетизма начинает обращать повсюду на себя внимание и

<sup>1</sup> Немецкий журнал «Kunst und Gewerbeblatt», 1841, В. 19 выступил с опровержением материалов о двигателе Вагнера, помещенных в специально изданной в Германии брошюре. В этой брошюре среди прочего сообщалось, что двигатель Вагнера уже успешно работает на лесопильном заводе в Баварии. Журнал писал: «Вагнер еще не успел за это короткое время решить поставленную задачу, а баварская лесопилка работает на небольшом столе, т. е. представляет собой модель. Изображена же в брошюре всем известная машина Якоби. Так как самое хорошее дается к концу, то в конце брошюры имеется еще изображение машины Штерера, которая построена на принципе Якоби. Из всего этого, что находится на заглавном листе, правильно только место печатания брошюры, типография и год издания». [Л. 90, стр. 450].

любопытство. Ближайший результат сего приложения была бы замена паровой машины другой, более верной, менее опасной и почти никаких издержек не требующей. Из прилагаемого при сем номера французской газеты Ваше Императорское Величество изволите усмотреть, что в Северной Америке ожидают для мореплавания и судоходства важнейших последствий от сего открытия. Оно с равным успехом может относиться к каждой части машинного производства. Между тем представляется случай в недрах государства продвинуть значительно вперед сию столь занимательную и важную теорию. Дерптский профессор Якоби предупредил все эти опыты собственными наблюдениями и опытами. Первый он обратил внимание научного мира на эту отрасль физико-химических наук и после долгих размышлений считает он возможным привести в действие эту силу с приложением оной ко всякому предмету, который угодно будет к сему назначить ... » [Л. 79, лист 1, а и далее].

Уваров тем охотнее выступал за оказание помощи Якоби, что дело казалось ему почти разрешенным и требующим только некоторых экспериментов для уточнения деталей. На опыты были ассигнованы значительные средства, создана высокоавторитетная в научном отношении комиссия в составе академиков П. Н. Фусса, Э. Х. Ленца, М. В. Остроградского, А. Я. Купфера, члена-корреспондента Академии наук П. Л. Шиллинга, представителей военно-морского ведомства — вице-адмирала И. Ф. Круzenштерна и капитана корпуса корабельных инженеров С. А. Бурачка, представителя министерства финансов, полковника горного инженера П. Г. Соболевского. Перед комиссией была поставлена задача произвести испытания электродвигателя Якоби в практических условиях, сделать в нем необходимые усовершенствования, выполнить нужные теоретические работы с тем, чтобы иметь возможность дать заключение, насколько экономичен и удобен электродвигатель для практической работы.

Электродвигатель было решено установить на судне, так как это давало в случае успеха большие преимущества для военно-морского флота. Царское правительство в то время много внимания уделяло усилению морского флота и морской обороны, как это можно будет увидеть и на примере постановки работ по минной электротехнике.

Работы Комиссии начались с организации мастерской и оснащения ее необходимыми электроизмерительными и

другими приборами. Эта мастерская в дальнейшем стала центром исследовательской работы, проводимой Якоби в тесном содружестве с Э. Х. Ленцем. Все, начиная от изолировки проводов и кончая сборкой двигателей, осуществлялось в этой мастерской под личным руководством Якоби. После того как Якоби был привлечен к работам в области минной электротехники, была создана новая, хорошо оснащенная мастерская. Ее деятельность сыграла большую роль в создании и внедрении электротехнических устройств прежде всего в русских армии и флоте<sup>1</sup>.

В начале же работы Якоби мастерская была оборудована весьма скромно. Из материалов Комиссии можно приблизительно составить представление об ее оборудовании: прибор для отсчета числа оборотов (тахометр), динамометр, два гальванометра и «разные другие приборы для определения обстоятельств, имеющих влияние на течение электрической материи и на ход машины» [Л. 79], прибор для измерения «силы магнита», машина для плющения проволоки, машина для изолировки проволоки, гальванические батареи. Все приборы были изготовлены по чертежам самого Б. С. Якоби; некоторые из них ему приходилось и конструировать. Электроизмерительная техника того времени была крайне бедна. С 1825 г. был известен гальванометр Нобили, с 1833 г. тангенс-гальванометр профессора гельсингфорского университета Нервандера. В своих расчетах Якоби широко использовал закон Ома, который большинством физиков в то время еще освоен не был. Для измерения магнитных величин не только не имелось приборов, но и не было выработано и представления об единице, которой можно было бы охарактеризовать магнитное состояние. В работах Якоби не раз будут встречаться под терминами «магнетизм», «магнитная жидкость», «магнитная сила» такие понятия, как магнитный поток, магнитная индукция, интенсивность намагничивания, намагничающая сила.

Вопрос о технических электрических измерениях впервые был поставлен именно вследствие расширения практических применений электричества (телеграфия, электрохимия и пр.). Поэтому Якоби вынужден был много работать в области измерительных приборов и способов измерений. В этом направлении им была проделана работа исключительно большой важности и значимости. Он первый

<sup>1</sup> Подробнее об этом см. гл. 4.

изобрел реохорд, названный им вольтагометром, создал несколько конструкций вольтагометров, в том числе ртутный, обеспечивавший большую точность регулировки. Вольтагометры Якоби получили широкое распространение и в том виде, как их дал изобретатель, они сохранились почти до конца XIX в. Якоби был предложен жидкостный регулятор сопротивления.

Б. С. Якоби впервые проводит сравнение электромагнитного и электрохимического гальванометров, конструирует несколько новых типов гальванометров для специальных целей, в том числе гальванометр с масляным успокоителем, который на долгое время вошел в практику. Построенный по идее Фарадея вольтаметр (с разложением воды) на практике оказался малопригодным, и Якоби разрабатывает прибор, действие которого основывается на электролизе медного купороса.

Исследование Якоби и Ленцем электромагнитов привело их к разработке баллистического метода измерений магнитных величин. Для этих же исследований Якоби был изобретен специальный «электромагнитный силовой рычаг», с помощью которого проводились измерения подъемной силы электромагнита. Якоби предложил проволочный эталон сопротивления, который использовался вплоть до принятия международным конгрессом ртутного эталона сопротивления. Но в начале работы Комиссии измерение нужных величин было связано с большими трудностями, вызванными как несовершенством самих приборов, так и низким качеством их изготовления. В докладе Академии наук о своих работах в 1841 г., Якоби с горечью писал в отношении опытов над электродвигателем: «Из этих многочисленных, поставленных в большом масштабе опытов я не мог сделать положительных и точных выводов, да я и не хотел их делать; вряд ли кто-нибудь согласился бы проводить измерения с приборами, которые являются источниками многочисленных ошибок, вызываемых частично их расположением, а частично их неудовлетворительной конструкцией» [Л. 20, стр. 95].

Не приводя здесь подробного описания деятельности Комиссии (см. табл. 3, а также [Л. 95 и Л. 66]), остановимся на главных технических задачах, которые Якоби приходилось решать в ходе работ над приспособлением электродвигателя для судоходства.

Через четыре месяца после первого знакомства Комиссии с электродвигателем, привезенным Якоби из Дерпта,

## Календарь работы Комиссии

1837 г.

28 июня

Создание „Комиссии для производства опытов относительно приспособления электромагнитной силы к движению машин по способу проф. Якоби“.

9 июля

Первое заседание Комиссии: рассмотрение электродвигателя Якоби 1834 г. и его записки о преимуществах двигателя. Набросан план работ и сметы.

Сентябрь, октябрь, ноябрь

Заседания Комиссии один раз в месяц. Заслушивание докладов Якоби о ходе подготовительных и исследовательских работ. Оборудование мастерской, изготовление измерительных и др. приборов, усовершенствование гальванической батареи. Построение двух новых моделей двигателей.

22 декабря

Испытание двигателей Якоби (старой конструкции и двух новых). По предложению Якоби решено строить двигатель больших размеров.

1838 г.

Январь—август

Построение большого двигателя. Исследования Якоби и Ленцем электромагнитов.

13 сентября

Первое плавание по Неве на судне, движимом электродвигателем. Мощность двигателя  $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{4}$  л. с., скорость движения 2—3 версты ( $0,6$ — $0,7$  м/сек). Плавания на электроходе, в том числе и на значительные расстояния (7 верст), неоднократно повторялись.

Около 26 ноября

Заседание Комиссии с рассмотрением итогов испытаний:

Решено: 1) отметить первый успех; 2) устранить недостатки в конструкции коммутатора и изоляции (заменить шелк хлопчатобумажной пряжей и лаком); 3) рассмотреть возможность улучшения гальванической батареи; 4) изготовить новую модель электродвигателя и испытать ее.

1839 г.

Январь—май

Работа над электродвигателем; усовершенствование гальванической батареи; исследование электромагнитов Якоби совместно с Ленцем.

18 мая

Заседание Комиссии с докладом Якоби о новой гальванической батарее с платиновыми электродами.

31 мая

Комиссия докладывает Уварову, что усовершенствование электродвигателя и построение новой батареи дает основание думать об увеличении мощности двигателя более чем в 2 раза.

## Календарь работы Комиссии

8 августа	Испытание на Неве судна с усовершенствованным двигателем, модели 1838 г., „лучшим, чем все доселе изготовленные для опыта модели“ и с новой гальванической батареей. Скорость судна около 4 верст/ч (1,2 м/сек). Мощность двигателя по сравнению с двигателем 1838 г. увеличилась в 3—4 раза.
Около 21 августа	Заседание Комиссии с рассмотрением итогов испытаний. Решено построить более мощный электродвигатель.
13 и др. дни сентября 1840 г.	Плавание по Неве на электроходе с пассажирами 10—14 человек. Якоби в командировке в Англии.
1841 г. 12 мая	Работа Якоби „О законах электрических машин“.
До октября	Заседание Комиссии. Сообщение Якоби о готовности к установке на судно строенного двигателя. Проведение испытаний строенного двигателя. Двигатель развивал мощность, незначительно превосходящую мощность двигателя образца 1839 г.
Около 12 ноября	Заседание с рассмотрением итогов испытаний 1841 г. Решено: 1) просить Якоби осмотреть электродвигатель и высказать свое мнение о причине неудачи; 2) просить Якоби на основании выведенных им законов электрических машин точно рассчитать мощность электродвигателя; 3) отметить, что достигнутые Якоби результаты превышают результаты, полученные за границей; 4) считать свои действия оконченными (Уваров предложил работу продолжать).
1842 г. 18 января	Заседание Комиссии. Решено: предложить Якоби построить небольшой двигатель и провести совместно с Ленцем исследования как причин неудачи, так и возможности практического использования электродвигателя в судоходстве.
28 ноября	Заседание Комиссии. Слушали донесение Якоби о его работах в 1842 г. В исследовании электродвигателей сделать ничего не удалось, так как не был готов малый электродвигатель. Решено: считать работу Комиссии оконченной „впредь до открытия какого-либо нового пути, могущего вести к усовершенствованию приложения магнитной силы к движению судов“.

22 декабря 1837 г., было проведено испытание трех двигателей, которые Якоби построил уже в Петербурге: двигателя модели 1834 г., но большого размера, и двух новых — одного «совершеннейшей» конструкции Якоби, другого — «по описанию подобного аппарата, сделанного в Америке». Двигатели испытывались в лабораторных условиях. Критерием их мощности была совершаемая ими работа поднятия груза на определенную высоту. Опыты прошли успешно. По предложению Якоби было решено строить двигатель примерно в  $\frac{1}{2}$ —1 л. с. с тем, чтобы испытать его уже на судне.

Вся первая половина 1838 г. была затрачена на проектирование и строительство электрического двигателя, установку его, наладку и на научные исследования, которыми занимались «со взаимной ревностью профессор Якоби и академик Ленц». Исследования касались электромагнитов.

13 сентября 1838 г. ознаменовалось выдающимся событием. В этот день по реке Неве проплыло судно, движимое электричеством. Это была лодка длиной около 25 футов (7,7 м) и шириной 7,5 футов (2,25 м), вмещавшая до 14 пассажиров. От электродвигателя движение передавалось на гребные колеса типа пароходных. В качестве источника электроэнергии использовались 320 медноцинковых гальванических элементов. Это был первый случай практического применения электродвигателя. Он наглядно показал, что электричество, как и другие силы природы, может быть поставлено на службу человеку. Опыты плавания на электроходе повторялись неоднократно в течение осени 1838 г. и были возобновлены в августе следующего года, после внесения в электродвигательную установку ряда изменений.

Здесь сразу же следует оговорить, что ни в трудах Якоби, ни в материалах Комиссии нет описаний конструкций электродвигателей, которые Б. С. Якоби создал в процессе работы над электроходом. Внимательное изучение докладов Комиссии [Л. 79, 95], книги студента Петербургского университета В. Кайданова [Л. 33], а также статьи в газете «Северная пчела» от 26 сентября 1839 г. [Л. 6] позволило путем сопоставления фактов восстановить конструкцию электродвигателя, установленного на лодке в 1838 и 1839 гг.

Почему Б. С. Якоби отказался от использования двигателя 1834 г. для привода судна и обратился к разработке новой конструкции? Сейчас невозможно установить,

какие недостатки ученый видел в первой модели двигателя. Очевидно, при оценке его достоинств он исходил прежде всего из способности двигателя развивать более или менее значительную мощность. Это действительно было одно из основных качеств для практического двигателя. Мощность же двигателя в конечном счете определялась конструкцией.

Мощность первой модели двигателя Якоби была очень мала. Подсчет, проведенный по данным Якоби (стр. 40), показывает, что она была равна всего  $0,02 \text{ л. с.} = 15 \text{ вт}$ . Увеличивая габариты машины, можно было бы несколько увеличить мощность, но вместе с этим сильно возросли бы потери в машине и расходы на гальванические элементы. Магнитная цепь двигателя Якоби имела слишком большие воздушные зазоры и, следовательно, очень большое рассеяние. Поэтому для того, чтобы обеспечить действие двигателя, требовался большой магнитный поток. Магнитный поток создавался током от гальванических батарей, которые должны были быть весьма мощными. Это удорожало установку. Кроме того, с увеличением тока ухудшались условия коммутации — увеличивалось искрение, а также возрастали потери в меди проводов обмотки электромагнитов.

В. Кайданов в упомянутой книге [Л. 33] отмечает еще один недостаток конструкции первого двигателя Якоби, действительно существенный в практической установке. Кайданов указывает, что каждый раз, когда полюса подвижного диска становились против полюсов неподвижного диска (т. е. когда друг против друга оказываются разноименные полюса), а коммутатор еще не сработал, взаимное притяжение магнитов стремилось сместить подвижной диск по направлению силы притяжения, увеличивая этим нагрузку на подшипник оси подвижного диска, т. е. создавая дополнительные потери на трение. Возможно, что Б. С. Якоби, много экспериментируя с двигателем, видел несовершенство его и в других отношениях.

Интересно отметить, что двигатель Якоби, привлекший к себе всеобщее внимание после публикаций 1834—1835 гг., вызвал и ряд критических замечаний современников. Некоторые из этих высказываний свидетельствуют о полном непонимании учеными тех явлений, которые Якоби уже начал практически использовать. Английский профессор Александр [Л. 90] попытался в 1841 г. указать на недостаток электрических машин, работающих на принципе притяжения и отталкивания электромагнитов. «При обсуж-

дении этих возражений (против машин, построенных на притяжении и отталкивании электромагнитов), — писал Александр, — будем рассматривать машину Якоби, являющуюся *самым главным и самым известным представителем этого типа машин* (курсив мой — М. Б.). Главным пороком двигателя Якоби Александр считает наличие при работе противотоков (!). Недостатком, по Александру, является и то, что в двигателе взаимодействуют электромагниты, а не комбинация постоянных магнитов с элек-

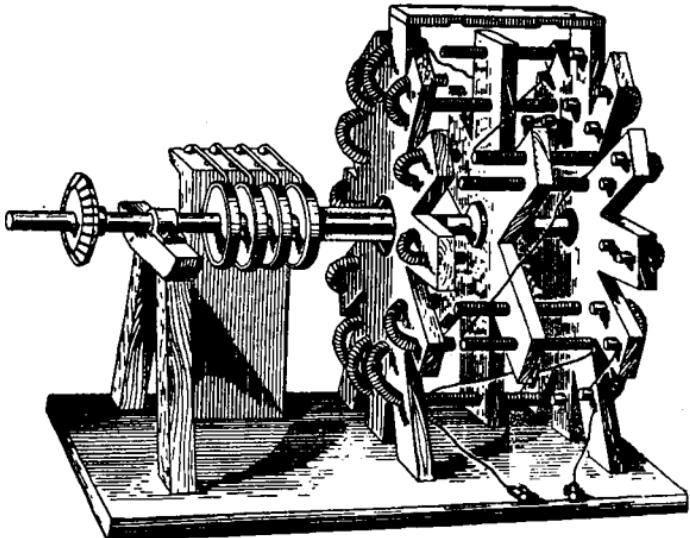


Рис. 12. Сдвоенный двигатель Б. С. Якоби.

тромагнитами, чем якобы двигатель усложняется, так как длина проводов обмотки увеличивается вдвое.

При сохранении основных конструктивных особенностей первого электродвигателя 1834 г. (вращательное движение, электромагниты, коммутирующее устройство) Б. С. Якоби в Петербурге в 1837—1838 гг. было разработано несколько новых моделей электродвигателей. Ученый, стремясь получить значительную мощность, шел по линии сборной конструкции — несколько отдельных двигателей на общем валу. Один из таких двигателей приведен на рис. 12.

В результате экспериментов с различными моделями Якоби приходит, наконец, к конструкции 1838—1839 гг., с помощью которой ему и удалось впервые осуществить плавание на электроходе. Двигатель, использовавшийся при опытах в 1838 и в 1839 гг., был одной и той же моде-

ли — с горизонтальным расположением магнитной системы. В двигателе 1838 г. Якоби применил коммутатор, отличный от созданного им в 1834 г. Однако Комиссия после рассмотрения результатов опытов 1838 г. отмечает это изменение как недостаток и рекомендует «возвратиться к прежде употребленной г. Якоби конструкции» [Л. 79, лист 55]. Это и было учтено изобретателем при подготовке к испытаниям 1839 г.

Конструктивные данные двигателя 1838—1839 гг. приведены в статье «Новые успехи на поприще электромагнетических опытов и радостные надежды в будущем»<sup>1</sup>, опубликованной в газете «Северная пчела» 26 сентября 1839 г.

Это единственное описание двигателя Якоби, работавшего на электроходе, которое до сих пор удалось обнаружить.

Несмотря на то, что это не есть сообщение какого-либо официального источника, имеются основания считать его достаточно достоверным. Статья изобилует подробностями чисто технического порядка, которые не могли стать известны корреспонденту «Северной пчелы» без консультации специалиста. В статье приведены точные размеры судна, точные данные о конструкции и работе гальванических батарей, совпадающие с цифрами, сообщенными через год, т. е. в 1840 г., самим Б. С. Якоби, и с данными отчета Ижорских заводов, где изготавлялись детали для двигателя.

Корреспондент газеты мог получить сведения об установке либо от самого Якоби, либо от одного из членов Комиссии, которым одним только могли быть известны такие подробности. Если все описания и цифры, относящиеся к электроходу, точны, то нет основания считать, что размеры и описание двигателя есть плод фантазии корреспондента. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что в разделе статьи, где описывается двигатель, рядом с некоторыми техническими терминами в скобках, как бы в подтверждение правильности перевода, помещены их значения на немецком языке, что, как нам кажется, доказывает, что описание двигателя взято из какого-то письменного источника. Вполне вероятно, что немецкий текст принадлежал Б. С. Якоби.

<sup>1</sup> Статья подписана инициалами Ф. Б. Автором ее был издатель «Северной пчелы» Фаддей Булгарин.

По описанию «Северной пчелы» двигатель, установленный на лодке, имел следующую конструкцию: «... Обращаясь к электромагнитической лодке ... мы находим в ней небольшую машину, которая при 4-х футах [1,2 м] высоты занимает пространство не более  $\frac{5}{4}$  аршина [0,9 м] в длину и  $\frac{1}{4}$  аршина [0,77 м] в ширину. По виду кажется, будто механизм лодки состоит из 2-х столбов, между которыми через всю ширину лодки идет железная ось. Каждый столб состоит из 20 железных колец, имеющих внутри небольшие железные неподвижные ступицы<sup>1</sup> (Vorsprünge). Между этими железными ступицами находится 20 железных крестов, которые укреплены все на одной оси. От сих осей движение переносится через колеса на ... ось гребных колес. Кольца и кресты обвиты медной проволокой. Концы проволоки соединены известным образом с гальванической батареей, утвержденной в передней половине лодки. ... Очевидно, что по наружности машина довольно проста; только снаряд, находящийся наверху каждого столба и назначенный к сообщению попеременного магнетизма, несколько сложен, и мы не можем дать понятия о нем нашим читателям простым рассказом без приложения рисунка» [Л. 6].

На основании этого описания составлен чертеж судового электродвигателя Якоби (рис. 13). В деревянной станине, образованной стойками 1 и 2, установлены две группы двигателей, в каждой по 20 штук. Каждая группа двигателей имеет общий вал 3 и коммутатор 4. Неподвижная часть каждого из сорока двигателей представляет собой кольцо, составленное из двух электромагнитов 5 и 6, скрепленных скобами из немагнитного материала 7 и 8. Подвижная часть элементарного двигателя состоит из четырех электромагнитов 9, укрепленных во втулке 10. Изменение направления тока в обмотках подвижных магнитов осуществляется коммутатором 4 одновременно во всех двигателях данной группы. Ввиду наличия двух коммутаторов можно предположить, что обе группы электродвигателей были присоединены к батарее параллельно.

Интересно отметить, что в учебнике Э. Х. Ленца «Руководство физики» (1855 г.) дано подробное описание конструкции и действия этого электродвигателя Якоби и помещен его чертеж (рис. 14). Правда, имя Б. С. Якоби при этом не называется, но знакомство с приведенными в кни-

<sup>1</sup> Перевод сделан неправильно. «Vorsprünge» следует переводить «выступы».

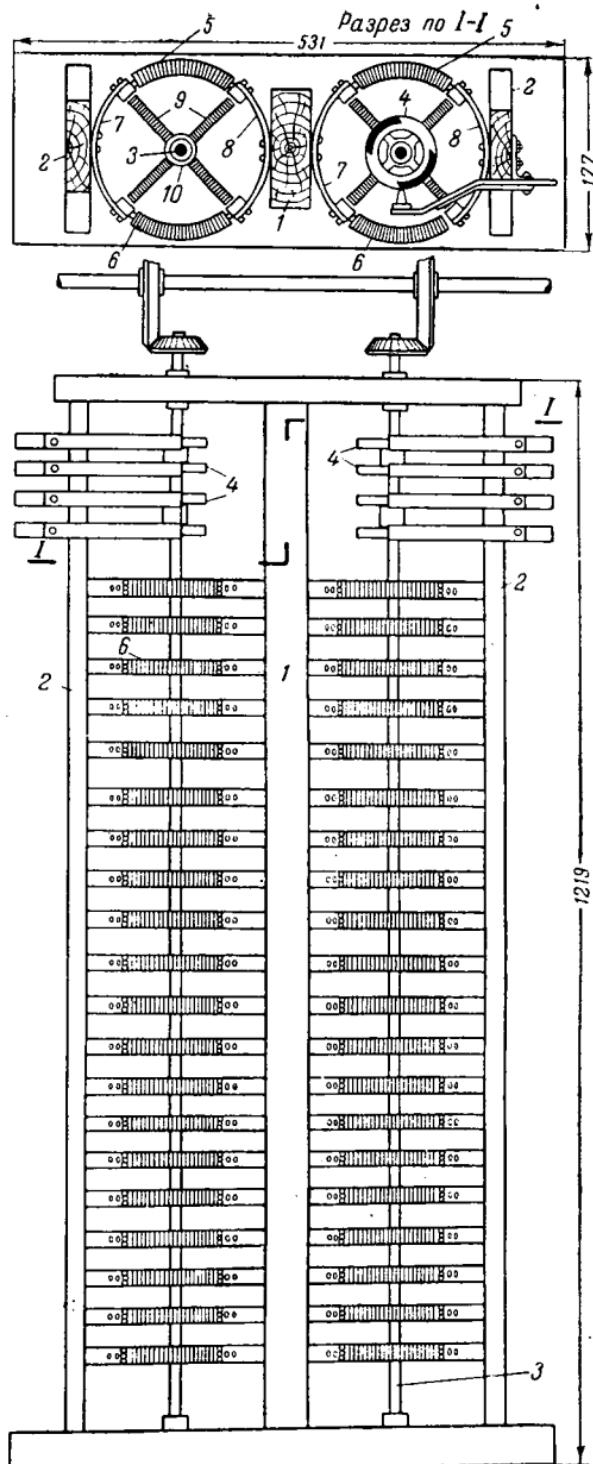


Рис. 13. Двигатель Б. С. Якоби 1838 г.

ге Ленца материалами не оставляет сомнения, что речь шла о двигателе Якоби 1838—1839 гг.

Выше мы приводили цитату из протокола Комиссии, где встречается указание, что описанный электродвигатель Якоби был построен по типу американского двигателя. При этом имелись в виду работы Т. Девенпорта, который почти одновременно с Якоби занялся созданием электро-

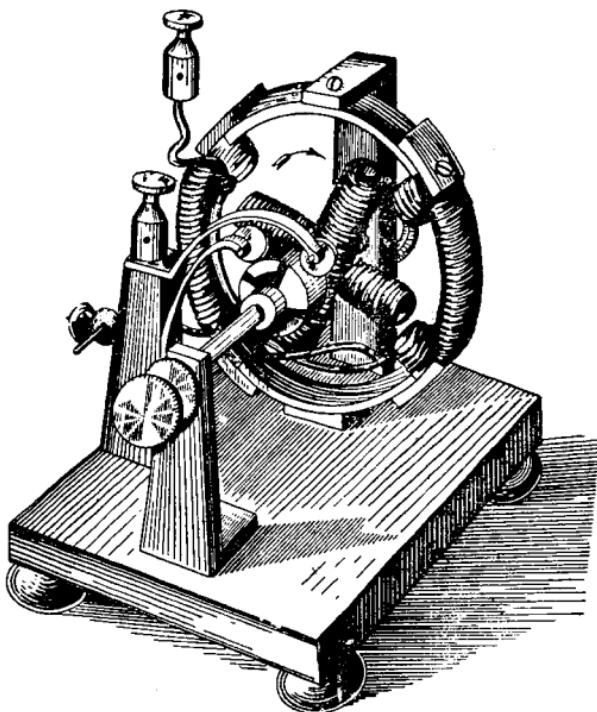


Рис. 14. Модель двигателя Б. С. Якоби 1838 г.

двигателя и его приспособлением для привода различных механизмов.

Запись Комиссии, как мы покажем ниже, основывалась на чисто внешнем сходстве двигателя Якоби 1838—1839 гг. и двигателя Девенпорта. Описание двигателя Девенпорта впервые было дано в патентной заявке в феврале 1837 г. [Л. 90, стр. 248]. В примечании, сделанном издателем журнала Франклиновского института, где заявка была опубликована, говорится, что Девенпорт впервые увидел электромагнит в 1833 г., а в июле 1834 г. «был в состоянии показать публике врачающуюся машину» [Л. 90, стр. 251]. Вероятно, здесь речь идет не об электродвигателе в собствен-

ном понимании этого слова, а о приборе типа прибора Риччи (рис. 4), демонстрировавшем вращательное движение. В противном случае трудно объяснить отсрочку патентной заявки до 1837 г. Уместно вспомнить, что Б. С. Якоби первое официальное сообщение о своем электродвигателе представил Парижской академии наук в ноябре 1834 г. До этого краткие заметки об его изобретении были напечатаны 22 мая 1834 г. в берлинской газете «Allgemeine Preussische Staats-Zeitung» и 6 августа этого же года в «Berlinoische Nachrichten». Последняя заметка была перепечатана в газете «St.-Petersbourg Zeitung» 5 сентября 1834 г. и в № 10 «Журнала мануфактур и торговли». В 1835 г. Якоби опубликовал «Заметки», в которых подробно описал двигатель.

Техническое сравнение электродвигателя Якоби, изобретенного в 1834 г., и двигателя Девенпорта 1837 г. (рис. 15) (табл. 4) показывает, что в первом двигателе был более удачно решен вопрос коммутации.

Таблица 4

	Двигатель Якоби (1834 г.)	Двигатель Девенпорта (1837 г.)
Характер движения	Вращательное движение	Вращательное движение
Магнитная система	Электромагниты в подвижной и неподвижной частях двигателя	Неподвижная часть — постоянные магниты; подвижная — электромагниты (рис. 14). Позже Девенпорт перешел на электромагниты в обеих частях двигателя
Коммутатор	Вращающиеся на валу двигателя диски, по которым скользят „щетки“	Неподвижные металлические кольца, по которым скользят концы проводников электромагнитов (рис. 14).

В двигателе Якоби использовались электромагниты, в то время как Девенпорт в 1837 г. брал еще постоянные магниты. В пользу двигателя Девенпорта можно отнести более удачное расположение магнитной системы, что позволяло создать более компактный двигатель.

По-видимому, Якоби, познакомившись с описанием машины Девенпорта и сразу отметив выгоду (в смысле уменьшения габаритов) горизонтального расположения магнитной системы, решил построить такой двигатель. Но Якоби не

повторил в новой конструкции своего электродвигателя недостатки двигателя Девенпорта: устройство коммутатора, постоянные магниты, наличие двух полюсов на неподвижной части при четырех на подвижной. Он построил двигатель (рис. 13) с горизонтальным расположением магнитов,

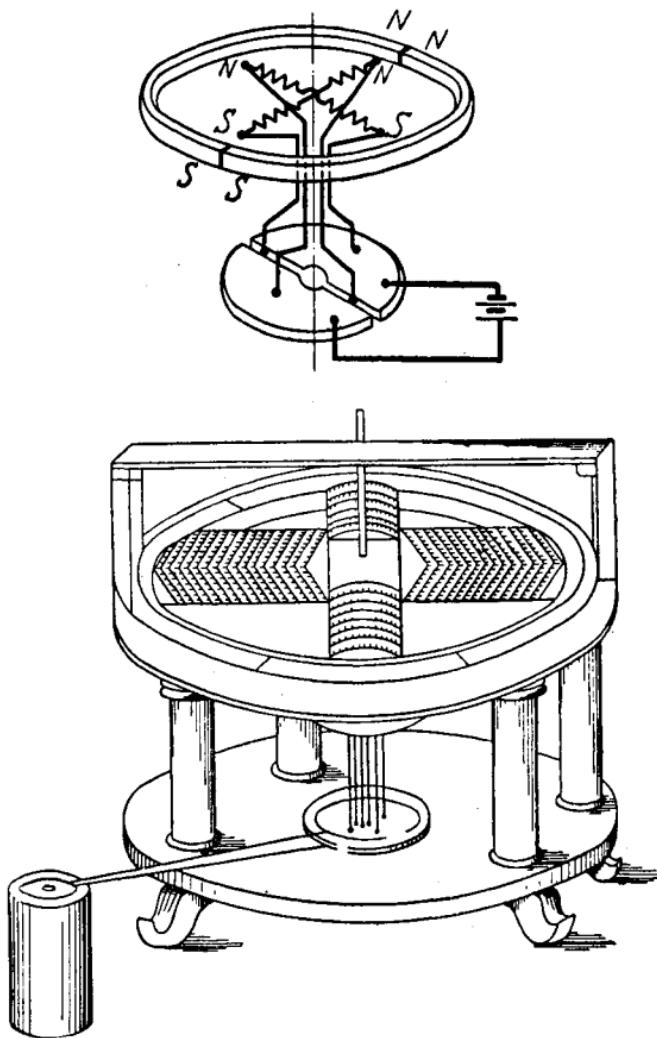


Рис. 15. Двигатель Т. Девенпорта 1837 г.

но ввел четырехполюсную систему на статоре, что создавало больший момент на валу двигателя, так как полюса подвижной части получали возможность за один оборот четырежды взаимодействовать с полюсами неподвижной. В новом двигателе Якоби сохранил все преимущества своего первого двигателя (коммутатор, электромагниты).

Из приведенного материала становится очевидно, что новый двигатель Якоби представлял дальнейшее развитие в более целесообразной конструктивной форме идей, воплощенных еще в первом его двигателе. Мысль Девенпорта о горизонтальном расположении магнитов не была механически заимствована Якоби: ученый преодолел недостаток магнитной системы двигателя Девенпорта, использовав лишь то, что способствовало улучшению конструкции машины. Таким образом в новом своем двигателе Якоби учел достижения в практике построения электродвигателей, накопившиеся к 1838 г., творчески развел их и создал двигатель, превосходивший как его первый двигатель 1834 г., так и двигатель Девенпорта. В свете всего вышеизложенного нет никаких оснований считать, что двигатель Якоби, установленный на судне, был копией двигателя Девенпорта. Здесь мы еще раз видим пример того, сколь прогрессивен и плодотворен в науке и технике метод широкого изучения и творческого использования изобретателем лучшего в трудах предшественников и современников. Только этот метод позволяет более коротким путем и в конечном счете более целесообразно решить стоящую задачу.

Мощность, которую удалось получить от двигателя ко времени первого плавания (1838 г.), определялась в отчете Комиссии от 26 ноября 1838 г. эквивалентной поднятию 6 000 фунтов (2 400 кг) за 1 мин на высоту 1 фут (0,3 м), т. е. мощность двигателя  $P = \frac{2400 \cdot 3}{60 \cdot 75} = 0,16 \text{ л. с.} = 117,5 \text{ вт.}$

Указанные цифры приводились Комиссией по худшему варианту. Максимальная же полученная мощность двигателя доходила до  $\frac{1}{4} \text{ л. с.}$ .

После внесения изменений в конструкцию двигателя, в результате которых он принял вид, показанный на рис. 13, а главное благодаря применению новой гальванической батареи с платиновыми и цинковыми электродами, удалось получить мощность в  $\frac{3}{4} \text{ л. с.}$  (по сообщению «Северной пчелы»). В донесении Комиссии от 21 августа 1839 г. говорится, что «сила» электрической машины увеличилась не только вдвое, а даже втрой и вчетверо. Если принять мощность двигателя 1838 г. за  $\frac{1}{4} \text{ л. с.}$ , то мощность двигателя 1839 г. будет, действительно, примерно  $\frac{3}{4}—1 \text{ л. с.}$  или 550—736 вт. Это были обнадеживающие результаты, и Комиссией было решено построить еще три двигателя, подобные установленным на судне, ибо «посред-

ством учетверения движущей силы можно надеяться достичнуть желаемого успеха» [Л. 79]. Для размещения такой двигательной установки в 1840 г. по заказу Комиссии было сооружено большое судно. Однако в силу неблагоприятного стечения обстоятельств — длительная задержка с изготовлением электродвигателя и глиняных судов для гальванических батарей, командировка Якоби за границу — опыты с электродвигателем, составленным из трех групп элементарных двигателей, а не из четырех, как предполагалось вначале, были проведены только в 1841 г. Они показали, что двигатель не может дать ожидаемой мощности: «двигательная сила оказалась немногим больше, чем в прежней машине 1839 г.» [Л. 79]. Сам Б. С. Якоби относил неудачу с тройным двигателем за счет плохого качества железа, нарушения центровки вращающихся частей, несовершенства источника тока, но отнюдь не за счет идеи использования электромагнетизма для движения машин. Поэтому по его настоянию Комиссия приняла решение о постройке маленькой машины такой же модели с тем, чтобы, экспериментируя с ней, Якоби смог выяснить как истинные причины неудач опытов 1841 г., так и экономическую сторону дела, т. е. при каком расходе цинка в гальванических батареях может быть получена определенная мощность на валу двигателя. В дальнейшем, как видно из материалов Комиссии, исследования этой машины так и не были проведены. Это произошло отчасти из-за большой загруженности Якоби научной работой в других областях электротехники, в основном же вследствие того, что к этому времени он выяснил главную трудность в деле практического использования электродвигателя.

Работая над приспособлением электродвигателя для практических целей, Якоби вплотную столкнулся с проблемой генерирования электрического тока. После долгих и упорных исследований гальванических элементов он пришел к совершенно определенному выводу, что разрешение вопроса применения электродвигателей стоит в прямой зависимости от создания экономичного и удобного источника электрического тока и что разработка различных конструкций двигателя не имеет смысла впредь до изобретения такого генератора. В докладе Академии наук в 1841 г. Якоби писал: «Я считаю работу над механической частью, в частности, над механизмом для передачи движения, почти законченной. Правда, усовершенствования в этом на-

правлении еще возможны, но, по самой своей сущности, они могут развиваться лишь постепенно, и не думаю, чтобы они могли послужить к разрешению поставленного вопроса. Иначе дело обстоит с возбуждением гальванической деятельности, являющейся источником этой силы» [Л. 20].

Эту же мысль Б. С. Якоби повторил в работе «О магнитоэлектрических машинах», опубликованной в 1847 г.: «Их (электродвигателей) внедрению в промышленность препятствуют не технические и конструктивные трудности, которые всегда преодолимы, а следующий простой факт: химическая энергия в настоящее время дороже механической» (курсив мой—М. Б.) [Л. 20, стр. 113].

Вывод Якоби имел исключительную важность. В то время очень многие ученые и изобретатели работали над электродвигателем, и различные конструкции двигателей создавались одна за другой, не обеспечивая решения задачи. Якоби прямо указал путь, по которому надо идти, чтобы практика получила электрический двигатель: надо было предварительно решить проблему генератора электрической энергии. История электромашиностроения подтвердила правильность мыслей ученого. Правда, несмотря на то, что Якоби было известно явление обратимости электрических машин, он долгое время, так же как и его современники, считал, что в качестве источника электрической энергии в сочетании с электродвигателем должны использоваться гальванические элементы<sup>1</sup>.

## *Исследования по теории электромагнетизма*

### *Открытие явления обратной э. д. с.*

Открытие существования обратной э. д. с. в двигателе, сделанное Б. С. Якоби в 1835 г., является одним из важнейших результатов его трудов в области электрических машин.

Как уже отмечалось, Якоби в начале своей работы над электродвигателем, теоретически анализируя характер магнитных взаимодействий в машине, пришел к заключению, что под действием магнитных сил должно возникать ускоренное движение. При опытах же электродвигатели,

<sup>1</sup> Подробнее об этом см. гл. 5.

как и все прочие двигатели, по прошествии пускового периода вращались с постоянной скоростью. Передовой ученый и инженер Якоби не мог не понимать, что эта постоянная скорость создается в результате воздействия на движущуюся систему определенных реальных сил. Движущей силой здесь была сила магнитных взаимодействий; силой реакции, как казалось на первый взгляд,—сила трения. Однако самый приблизительный подсчет величины реактивных сил трения показал, что они не могут обеспечить равновесия системы. Следовательно, надо было найти силу сопротивления, которая делала движение электрической машины равномерным. Как мы говорили выше, Якоби еще в докладе 1834 г. высказал предположение, что уравновешивающую силу надо искать «в природе силы», действующей в машине, т. е. в электромагнитных процессах. Вероятнее всего, что первоначально это заключение родилось из чисто инженерного анализа работы машины: есть «двигательные силы», должны быть и реактивные, а так как внешние силы реакции не обеспечивают равновесия, то это должны сделать внутренние силы, т. е. электромагнитные.

Электромагнитные процессы в двигателе в то время не были изучены. Именно поэтому Якоби, предполагая у электрического двигателя наличие ускоренного движения и считая это ускоренное движение специфически присущим порождающей его «магнитной силе», пришел к неправильному выводу, что «в электрической машине скорость не стоит денег». Якоби, успешно оперировавший с законом сохранения энергии в применении к механическому движению, еще не мог понять, что этот же закон справедлив и для электромагнитных взаимодействий.

Как видно из заключительной части первого доклада Якоби о своем двигателе (1834 г.) и § 18 «Заметок», он знал о возникновении индукционных токов при движении проводника с током в магнитном поле и понимал, опираясь на закон Ленца, что их действие будет направлено встречено к действию намагничивающего тока. Но Якоби не видел еще роли индуцированных токов в ограничении скорости двигателя. Более того, он считал, что наведенный ток будет оказывать действие не всегда. В случае, например, питания цепи от термоэлементов он будет ослаблять основной ток, а при питании от гальванической батареи эти токи будут почти уничтожены при прохождении через большое внутреннее сопротивление батареи. Серьезные экспериментальные работы, которые Якоби настойчиво проводил, при-

вели его, в конце концов, к обнаружению факта наведения обратной э. д. с.

«Я был крайне удивлен...,—писал Якоби в «Заметках»,— ибо мне в первый раз пришлось констатировать, что соединительный проводник в одно и то же время пропускает гальванический ток и испытывает влияние перемещающегося магнита. Спираль, производящая магнит при помощи гальванического тока, является одновременно и электромагнитной спиралью, в которую вводят магнит» [Л. 90, стр. 175].

В этом опыте Б. С. Якоби усмотрел разрешение загадки равномерного вращения электромагнитной машины: он обнаружил обратную э. д. с. в обмотке вращающихся электромагнитов двигателя. Открытие обратной э. д. с. или, по терминологии Якоби, «контр-токов» имело громадное значение. Оно составило важнейший закон электрических двигателей—закон равновесия э. д. с.: подведенное к двигателю напряжение должно уравновешиваться суммой развивающихся обратных э. д. с.

Открытие обратной э. д. с. вызвало необходимость детального изучения этого явления. Прежде всего вставал вопрос, какое влияние оказывают «контр-токи» на величину намагничивающего тока. Для выяснения этого обстоятельства Якоби проделал ряд опытов. В цепь обмотки электромагнитов своего двигателя он включал гальванометр и, не приводя двигатель в движение, измерял ток. При данной градуировке гальванометра стрелка отклонялась на  $60^\circ$ . После этого двигатель запускался. По мере увеличения скорости показания гальванометра уменьшались и, как только вращение двигателя становилось равномерным, стрелка гальванометра становилась на  $47^\circ$ . Измерения тока производились как при изменении скорости вращения, так и при включении добавочного сопротивления. На основании этих опытов Якоби не смог еще сделать каких-либо общих выводов.

Однако сам факт проведения таких исследований в 1835 г., на самой заре развития электрических двигателей, говорит о глубоком подходе Якоби к изучению свойств электрических машин. Исследуя «контр-токи», Якоби показал, что они обладают способностью намагничивать железо. Это было важно, ибо тогда все еще продолжали господствовать представления о различной «природе», т. е. свойствах электричества — «обыкновенного», индукционного, «вольтаического» и термоэлектричества.

Опыты 1835 г. были первыми, можно сказать, нащупывающими направление для дальнейших исследований. Фундаментальное исследование роли обратной э. д. с. в электродвигателе было тесно связано с изучением общих закономерностей, управляющих работой электрических машин. В то время Якоби еще не имел ни средств, ни необходимых предпосылок для того, чтобы взяться за эту задачу. Они пришли позже, когда в Петербурге был поставлен вопрос о широком практическом использовании двигателя Якоби.

К 1837 г. Б. С. Якоби становится ясно, что открытое им явление, способствующее установлению равномерной скорости в двигателе, не может быть отнесено к категории реактивных сил типа сил трения, сопротивления воздуха и т. п. Но наличие обратной э. д. с. Якоби, как и его современники, рассматривал вначале как недостаток электромагнитных машин, с которым надо бороться. Этим обстоятельством и объясняется упорное стремление Якоби осуществить какое-либо «полезное» использование «контртока».

Дальнейшая работа над электродвигателем заставляет Якоби заняться количественным определением обратной э. д. с., а также обратить более пристальное внимание на результаты своих опытов, показывающих уменьшение электрического тока при работе машины.

В 1839 г. в письме к Фарадею Якоби сообщил, что он занят изучением явления обратной э. д. с., но что ему «...еще не удалось установить точное взаимоотношение токов до того, как машина пущена в ход и во время работы машины» [Л. 90, стр. 334]. Это было им сделано в 1840 г., в работе по теории электрических машин. Якоби дает выражение для обратной э. д. с., наводимой в машине, в зависимости от «магнитной силы» (магнитного потока), числа витков и частоты изменения тока. Пользуясь современными обозначениями, по Якоби, обратная э. д. с.

$$E \equiv f\omega\Phi,$$

где  $w$  — число витков;

$f$  — частота;

$\Phi$  — магнитный поток.

Как известно, процесс возникновения обратной э. д. с. в электрической машине с простейшим якорем выражается формулой:

$$E = kf\omega\Phi_m,$$

где  $\Phi_m$  — амплитуда магнитного потока.

Сопоставление этой формулы с формулой Якоби показывает, что они отличаются на коэффициент  $k$ . В формуле Якоби подобный коэффициент тоже должен быть введен для перехода от пропорциональности к равенству. Его Якоби обозначал  $\kappa$  и считал зависящим от конструкции машины и свойств железа стержней электромагнитов. Смысл, который вкладывал Якоби в коэффициент  $\kappa$ , отличался от смысла коэффициента  $k$ , который определяется характером изменения тока (при синусоидальном, например,  $k=4,44$ ). Однако общий характер формулы Якоби показывает, что уже в 1840 г. ученым было дано вполне правильное выражение для обратной э. д. с.

В этой же работе Б. С. Якоби указал, что уменьшение тока в обмотке электромагнитов при движении машины связано с наличием обратной э. д. с., величина которой могла быть вычислена по выведенной им формуле.

Обнаружение явления обратной э. д. с. сыграло значительную роль в развитии теории электромашин. В частности, принцип самовозбуждения электрических машин был открыт на основе данных об обратной э. д. с. В. Сименс, один из открывателей принципа самовозбуждения, писал: «... В 1866 г. у меня возникла мысль, что электромагнитная машина, вращаемая в направлении, обратном тому, которое ей сообщает пропускаемый через нее ток, должна дать усиление этого тока. Эта мысль, собственно, напрашивалась сама собой, так как уже Якоби доказал, что в каждой электромагнитной машине, приводимой в движение электрическим током, возникает обратный ток, который и ослабляет действующий ток» [Л. 20, стр. 355].

Обратная э. д. с. является одним из важнейших параметров, характеризующих электрический двигатель.

### *Изучение электромагнитов*

Стоявшая перед Якоби задача приспособления электродвигателя для привода судна включала в себя прежде всего создание двигателя, достаточно мощного и надежного в эксплуатации.

Однако отсутствие научных данных при проектировании электродвигателей не позволяло оценить и использовать все преимущества, даваемые применением электричества в качестве источника энергии. Поэтому с первых шагов деятельности в Петербурге Б. С. Якоби обратил серьезное внимание на разработку теории электромашин. В до-

кладе Академии наук в 1841 г., касаясь своей работы над двигателем, Якоби писал: «Основным в поставленных передо мной задачах я считал установление этих (для электромагнитных машин) законов с такой же уверенностью, как и для других машин» [Л. 20, стр. 92].

Первой теоретической работой, проведенной в Петербурге Якоби, была совместная с Ленцем работа «О законах электромагнитов» (1838 г.).

Электромагниты составляли основную часть двигателя Якоби. Несмотря на то, что электромагнит был изобретен в 1825 г. и с тех пор его широко применяли в физических лабораториях при различных опытах, он был слабо изучен.

В 1836 г. английский ученый Риччи, много экспериментировавший с электромагнитами, пришел к заключению, что электромагниты в принципе обладают меньшей силой притяжения, чем постоянные магниты. Однако вывод Риччи был принят серьезно и его опубликовал «London and Edinburgh Philosophical Magazine» (1837, январь), что показывает отсутствие установившихся твердых знаний об электромагнитах. Об этом же свидетельствует и статья американского профессора Ч. Пейдж «Об электромагнетизме как движущей силе», помещенная в «The American Journal of Science and Arts» в 1839 г. На основании своих опытов Пейдж заявлял, что скручивание проводника в спираль уменьшает его проводимость, что сила притяжения магнита не равна силе отталкивания и т. п.

Упоминавшийся выше изобретатель одного из первых электромагнитных двигательных механизмов Даль-Негро сообщил в одной из своих работ, что причиной, побудившей его отказаться от дальнейшего совершенствования своего двигателя, было стремление сначала выяснить законы электромагнитов. В результате исследований Даль-Негро был установлен закон, гласящий, что «магнетизирующая сила»<sup>1</sup> прямо пропорциональна периметру пластин гальванического элемента. В 1835 г. в «Заметках» Якоби описал свои опыты по проверке закона Даль-Негро и показал ошибочность выводов последнего. Даль-Негро также исследовал зависимость «силы магнетизма» от конфигурации и величины намагничиваемого стержня. Он нашел, что намагничивание получается сильнее у цилиндрических железных стержней, чем у призматических; что «сила магнетизма» есть функция длины стержней, причем эта функ-

<sup>1</sup> Здесь — сила намагничающего тока.



Э. Х. Ленц

ция имеет максимум. Исследования электромагнитов проводил и немецкий ученый Фехнер. Однако его работы также не были точны.

Изучение свойств электромагнитов, как мы писали выше, Якоби начал еще в допетербургский период своей деятельности. В «Заметках» (§ 9) он изложил свои опыты над определением зависимости подъемной силы электромагнита от площади пластин гальванической батареи, питающей этот электромагнит, т. е. зависимость подъемной силы электромагнита от тока, обтекающего его обмотку. Однако все опыты, проводившиеся ранее над электромагнитами, в том числе и опыты Якоби, были в общем случайны, а главное не точны вследствие несовершенства метода измерений.

В 1838 г. Ленцем и Якоби были осуществлены фундаментальные и тщательно продуманные исследования электромагнитов, которые сыграли в науке и технике заметную роль, будучи долгое время единственными достоверными работами.

Б. С. Якоби и Э. Х. Ленц поставили себе две основные задачи: 1) для заданных железного сердечника и общей поверхности пластин гальванической батареи найти конструкцию обмотки электромагнитов (диаметр провода, число витков) и количество гальванических элементов, при котором возможно получить наибольший «магнетизм»; 2) определить, какая зависимость существует между раз-

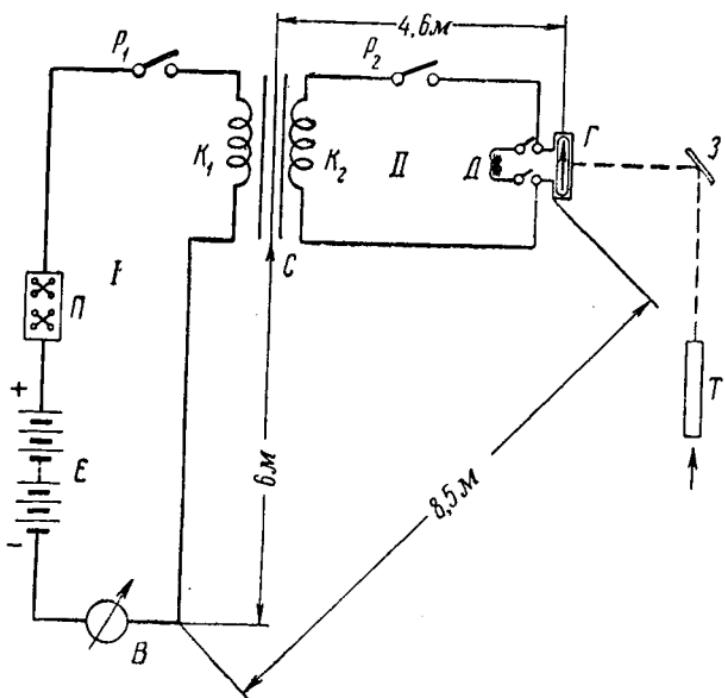


Рис. 16. Измерительная схема в опытах с электромагнитами.

мерами железного сердечника и возбуждаемым «магнетизмом».

Обе эти задачи были продиктованы теми трудностями, с которыми столкнулся Якоби при работе над созданием большого электродвигателя. Практическое значение своего исследования ученые подчеркивали неоднократно.

Характер опытов требовал двух измерений: 1) силы намагничающего тока и 2) силы возбужденного «магнетизма». Учеными была разработана методика измерений, а также различные приспособления для обеспечения точности измерений. На рис. 16 представлена схема измерений: I—первичная цепь, II—измерительная или вторичная цепь,

*C*—железный сердечник, намагничивание которого исследуется.

I. *E*—гальваническая батарея (Якоби и Ленц использовали две платино-цинковые батареи Волластона по 12 пар в каждой);

*K<sub>1</sub>*—намагничивающая катушка;

*B*—весы Беккереля для измерения силы тока;

*P*—переключатель — «жиротроп» — для изменения направления тока в цепи;

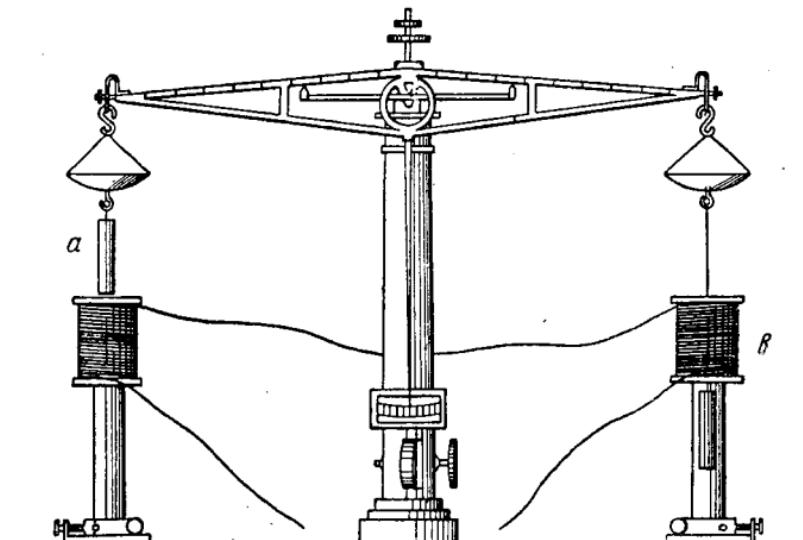


Рис. 17. Весы Беккереля.

*P<sub>1</sub>*—ключ для размыкания и замыкания цепи.

II. *K<sub>2</sub>*—индукционная катушка;

*Г*—мультипликатор (баллистический гальванометр);

*З*—зеркало;

*T*—зрительная труба;

*D*—демпфер для успокоения колебаний стрелок мультиплексора:

*P<sub>2</sub>*—ключ.

Для измерения силы тока в первичной цепи ученые пользовались весами Беккереля, предварительно внеся в них весьма существенное изменение. Весы Беккереля были устроены таким образом (рис. 17), что оба магнита *a* и *b* располагались в нормальном состоянии над катушками. Поэтому при обтекании катушек током на магнит *a* действовала сила притяжения, а на магнит *b* сила отталкивания. В результате этого на весах не удавалось получить

устойчивого равновесия, ибо силы притяжения и отталкивания не способствовали затуханию колебаний подвижной системы весов после установки противовеса.

Ленц и Якоби расположили один из магнитов не над катушкой, а под ней. В этом случае силы взаимодействия катушек и магнитов стали действовать встречно по отношению к силам инерции системы и обеспечили устойчивое равновесие подвижной системы, а тем самым и возможность более точных измерений.

Для точности измерений очень важно было добиться постоянства тока в первичной цепи. Этот вопрос тоже был предусмотрен. Постоянство тока поддерживалось путем регулировки глубины погружения пластин гальванических элементов в электролит.

Для измерения магнитных величин был принят баллистический метод, который основывался на предположении, что «индуцированный ток, возникающий вследствие исчезновения магнетизма в железном сердечнике, пропорционален самому магнетизму...»<sup>1</sup>. Эта предпосылка справедлива, если предположить, что под словом «ток» ученые понимали среднее значение тока, которое, как легко показать, действительно пропорционально изменению магнитного потока («магнетизма»). Если же речь шла о мгновенном значении тока, то это положение нуждалось в некотором уточнении. В этом случае пропорциональность существовала не между «магнетизмом» и током, как приняли Ленц и Якоби, а между изменением магнитного потока и количеством электричества, им наведенным. Таким образом, под термином «магнетизм» следует понимать магнитный поток; что касается тока, то в условиях опыта измерялся не ток, а количество электричества. Действительно, величина тока во вторичной цепи определялась по мгновенному отклонению стрелки мультиплексора в момент разрыва первичной цепи, т. е. в расчет брался первый наибольший отброс стрелки, так называемый баллистический отброс. Баллистический отброс подвижной системы такого гальванометра, как известно, показывает не величину тока, а количество электричества, возникшее в результате кратковременного изменения потока магнитной индукции. Следовательно, исходная предпосылка в магнитных измерениях Якоби и Ленца должна

<sup>1</sup> Этот метод Э. Х. Ленц впервые использовал в своей работе «О законах действия магнита на спираль при внезапном его приближении или удалении и о наивыгоднейшем устройстве спирали для магнитоэлектрических целей» (1833 г.) [Л. 45].

звучать так: количество электричества, индуцированное во вторичной цепи вследствие изменения потока магнитной индукции, пропорционально этому изменению потока. Таким образом, Ленцем и Якоби был применен метод измерения магнитного потока, основанный на использовании э. д. с., индукуируемой в цепи при изменении потока магнитной индукции, охватываемого контуром. Этот метод и в настоящее время широко применяется в магнитных измерениях.

На протяжении своей работы Якоби и Ленц неоднократно указывали на различные источники погрешностей, которые имели место при измерениях. Часть из них авторы смогли устранить полностью или частично, предусмотрев специальные меры, некоторые же не могли быть предупреждены.

#### К первой группе относятся:

1. Непостоянство силы тока
2. Неточность показания гальванометра из-за закручивания нити и эксцентриситета магнитной стрелки.
3. Воздействие первичной цепи на вторичную до начала измерений.
4. Неоднородность наложения изоляции на проводник, в результате чего катушки одинакового диаметра и с одинаковой длиной проволоки получались разной длины.

К неустранимым погрешностям должны быть отнесены:

1. Изменение показаний мультиплексора со временем.
2. Неоднородность качества железа стержней, зависящее от химического состава и способов его механической и термической обработки.

В результате опытов первого раздела Якоби и Ленц установили, что магнитный поток, создаваемый в железном стержне, пропорционален силе намагничивающего тока и числу витков обмотки и не зависит от диаметра проволоки и диаметра витков. Одновременно экспериментально было показано, что сила возбуждаемого «магнетизма» не зави-

#### Мера устранения:

Регулировка внутреннего сопротивления гальванической батареи путем большего или меньшего погружения пластин в электролит; позже — агометром Якоби.

Для измерения каждой величины производилось 4 замера — два при одном направлении тока, два при другом; для изменения направления тока был предусмотрен специальный переключатель.

Устройство ключа  $P_2$ , который замыкался только на время, необходимое для измерения.

Вводился поправочный коэффициент.

сит от формы сечения проводника (например, круглая проволока, лента). Независимость от материала проволоки была принята без специальных опытов на основании данных, полученных Ленцем ранее для обратного случая, т. е. при исследовании условий, влияющих на возбуждения тока в спирали при изменении магнитного поля. Правильность заключения Якоби и Ленца о независимости величины магнитного потока от диаметра и материала проволоки и от диаметра витков, равно как и пропорциональность магнитного потока числу витков, не подлежит сомнению. Вывод о пропорциональности магнитного потока силе намагничивающего тока требует некоторой оговорки. Ленц и Якоби проводили измерения в основном со стержнями значительных диаметров. Можно считать, что они употребляли небольшие силы тока, так как в опытах источником тока служили 24 платино-цинковых элемента, которые могли обеспечить э. д. с. около 45 в, а в цепь, не говоря о внутреннем сопротивлении батареи и сопротивлении соединительных проводников, были включены катушка  $K_1$  и катушки весов Беккереля, обладавшие значительным сопротивлением. Кроме того ученые, обращавшие особое внимание на точность измерений, никак не учитывали нагрев проводов, а при сильных токах он был бы значителен.

При таких условиях, т. е. при работе с толстыми стержнями и слабыми токами, намагничивание стержней исследовалось в областях, весьма далеких от области насыщения, что и дало Ленцу и Якоби основание заключить о пропорциональности магнитного потока и тока.

Примерно через 20 лет после этой работы Якоби и Ленца, в начале 1850-х годов, в связи с работами немецких физиков И. Мюллера и Дуба по намагничиванию железа вывод Ленца и Якоби о пропорциональности магнитного потока и тока был взят под сомнение, ибо опыты показали, что при известных условиях (например, тонкие стержни и сильные намагничивающие токи) намагничение очень быстро перестает быть пропорциональным току и приближается к некоторой постоянной величине, которая не была тогда достоверно измерена ни для одного случая<sup>1</sup>. Однако исследования Вебера, а также Буффа и Цамминера доказали, что закон пропорциональности магнитного потока и тока, установленный Ленцем и Якоби, действителен в опре-

<sup>1</sup> Зависимость намагничения железа от напряженности поля была впервые исследована А. Г. Столетовым в 1872 г.

деленных достаточно широких границах и, следовательно, применим во многих практических случаях.

Получив экспериментальным путем перечисленные выше законы, ученые смогли перейти к решению первой поставленной ими задачи: по данной поверхности пластин батареи и по данному сердечнику определить число пар в батарее и конструкцию обмотки электромагнита, которые обеспечивали бы максимальное намагничивание железа. Задача решалась аналитически на основании закона Ома:

$$F = \frac{A}{L + l} *,$$

где  $F$  — сила тока;

$A$  — сумма действующих в цепи э. д. с.;

$L$  — внутреннее сопротивление батареи;

$l$  — сопротивление электромагнитной катушки (сопротивление соединительных проводов не учитывалось, так как предполагалось, что оно мало в сравнении с сопротивлением катушки).

За единицу э. д. с. принималась э. д. с. одного медно-цинкового элемента.

За единицу сопротивления — сопротивление единицы длины медного проводника определенных сечения и удельного сопротивления.

За единицу «магнетизма» — «магнетизм», возбуждаемый одним витком при прохождении по нему тока, равного единице.

Искомыми величинами были: диаметр проволоки  $x$ , число слоев обмотки  $y$ , число пар в гальванической батарее  $z$ .

Известными считались: суммарная площадь пластин  $s$ , сопротивление пары пластин на единицу длины  $\lambda$ , толщина изоляции проволоки  $\delta$ , длина железного стержня  $a$ , диаметр железного стержня  $b$ .

Ход расчета:

1. Из геометрических размеров вычислялось сопротивление цепи

$$l = \frac{ax}{x^2(x + \delta)} [by + y^2(x + \delta)]$$

---

\* При изложении хода расчета мы сохраняем обозначения Якоби и Ленца.

и сопротивление батареи

$$L = \frac{\lambda z^2}{s}.$$

2. Определялась сила тока

$$\begin{aligned} F &= \frac{z}{\frac{\lambda z^2}{s} + \frac{a\pi}{x^2(x+\delta)} [yb + y^2(x+\delta)]} = \\ &= \frac{szx^2(x+\delta)}{\lambda z^2x^2(x+\delta) + a\pi s [yb + y^2(x+\delta)]}. \end{aligned}$$

3. На основании найденного закона «магнетизма», возбуждаемый всей катушкой, принимался равным:

$$M = F \frac{ya}{(x+\delta)}$$

или, подставляя значение  $F$  и пренебрегая величиной  $\delta$ , которая мала в сравнении с  $x$ , имели:

$$M = \frac{szx^2ya}{\lambda z^2x^3 + a\pi s(yb + y^2x)}. \quad (1)$$

4. Определялся максимум «магнетизма» в функции от искомых  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , для чего брались и приравнивались нулю частные производные  $M$  по  $x$ ,  $y$ ,  $z$ :

$$\frac{dM}{dx} = 0 = a\pi s(2yb + y^2x) - \lambda z^2x^3; \quad (2)$$

$$\frac{dM}{dy} = 0 = a\pi y^2s - \lambda z^2x^2; \quad (3)$$

$$\frac{dM}{dz} = 0 = a\pi s(yb + y^2x) - \lambda z^2x^3. \quad (4)$$

Из уравнения (4) вытекал очень важный для практики конструирования электрических магнитов, а следовательно и электромашин, факт. Если мы перепишем уравнение (4) в следующей форме:  $a\pi s(yb + y^2x) = \lambda z^2x^3$  и разделим обе части равенства на  $sx^3$ , то получим  $\frac{a\pi}{x^3}(yb + y^2x) = \frac{\lambda z^2}{s}$ , т. е., что  $l = L$ .

Это значит, что для возбуждения в электромагните максимума «магнетизма» должно быть соблюдено равенство

внутреннего и внешнего сопротивления цепи. Уравнение (4) облегчало работу по выбору рациональной конструкции электромагнитов, показывая, каким образом при данной гальванической батарее устроить электромагнит и, наоборот, какую взять батарею при данном электромагните.

5. Для получения частных максимумов «магнетизма» при каждом из неизвестных в функции двух других определяли  $x=f(y, z)$  из уравнения (2);  $y=\varphi(x, z)$  из уравнения (3) и  $z=\psi(x, y)$  из уравнения (4) и подставляли их значения в уравнение (1).

Находили частный максимум «магнетизма» для числа слоев обмотки  $y$ . Из уравнения (3) имели:

$$y=zx\sqrt{\frac{\lambda}{a\pi s}}. \quad (5)$$

Уравнение (5) показывает, что одним из необходимых условий для получения максимума «магнетизма» при увеличении числа слоев обмотки является одновременное в такой же пропорции увеличение числа пар в гальванической батарее или диаметра проволоки (т. е. уменьшение ее сопротивления). Это уравнение было весьма важно при практических работах с электромагнитами, ибо из него становилось ясно, что получение наибольшего намагничивания железа путем усиления обмотки в конечном счете связано с увеличением числа пар в батарее.

Далее, после подстановки значения  $y$  в уравнение (1) имели:

$$M_{\max}^y = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{sa}{\lambda\pi}}. \quad (6)$$

Выражение для  $M_{\max}^y$  позволяло заключить, что максимум «магнетизма» при оптимальном  $y$  может быть получен еще и путем увеличения площади пластин гальванической батареи или уменьшением ее внутреннего сопротивления.

6. Частные максимумы «магнетизма» для  $x$  и  $z$  определялись следующим образом. Исходя из условий практики, которая показывала, что число слоев обмотки лимитируется другими конструктивными размерами магнитов (например, в подковообразном магните расстоянием между полюсами), авторы сочли более целесообразным рассматривать не число слоев обмотки  $y$ , а толщину всей обмотки  $c$ , считая ее заданной в уравнении  $y = \frac{c}{x+\delta}$ , но  $\delta \approx 0$  и  $y = \frac{c}{x}$ .

Тогда

$$M = \frac{szx^2ca}{\lambda z^2x^4 + a\pi s(cb + c^2)}; \quad (7)$$

$$\frac{dM}{dx} = \frac{dM}{dz} = 0 = a\pi s(bc + c^2) - z^2x^4\lambda. \quad (8)$$

Из этого уравнения можно было определить как наивыгоднейшее в смысле получения «магнетизма» число пар в гальванической батарее при данном диаметре проволок, так и, наоборот, найти диаметр проволоки при заданном числе пар гальванической батареи [находя значения  $x$  и  $z$  из уравнения (8) и подставляя их в уравнение (7)]:

$$M_{\max}^{x, z} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{acs}{\lambda\pi(b + c)}}. \quad (9)$$

Как видно из уравнения (9), максимальный «магнетизм» не зависит ни от диаметра проволоки, ни от числа пар.

7. Расчетом было также показано, что изменение способа намотки проволоки при прочих равных условиях не отражается на величине «магнетизма».

8. Вычислялась «экономичность действия» электромагнита  $q$ . По закону Фарадея сила тока пропорциональна количеству вещества, выделившегося при электролизе в единицу времени. Тогда расход цинка в данной батарее будет пропорционален  $F \cdot z$ .

Полезное действие определяется степенью намагничивания стержня

$$q = \frac{M}{Fz} = \frac{Fca}{x^2zF} = \frac{ac}{x^2z},$$

т. е. экономичность действия тем больше, чем меньше число пар и чем тоньше проволока.

Для  $M = M_{\max}$

$$q = \sqrt{\frac{cal}{\pi s(b + c)}},$$

при этом расход цинка

$$Fz = \frac{s}{2\lambda}.$$

9. На основании всего вышеизложенного Якоби и Ленцем был сделан следующий совершенно правильный вывод: «Для данного железного цилиндра одного и того же

максимума магнетизма, соответствующего определенной поверхности цинка, можно достигнуть бесчисленным множеством способов, если толщину проволоки выбирать в определенном соотношении с устройством цепи; но каким бы способом мы не достигали этого максимума, расход цинка за определенное время в точности одинаков» (подчеркнуто мною — М. Б.) [Л. 45]. Вывод этот был крайне важен для установления правильного взгляда на энергетическую сторону в работе с электромагнитами.

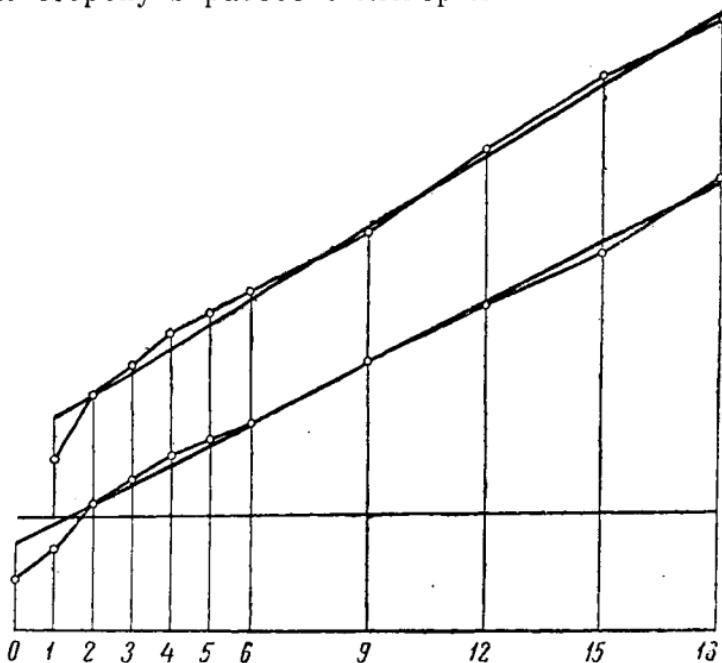


Рис. 18. Кривая, дающая зависимость „магнетизма“ от диаметра стержней, полученная Якоби и Ленцем.

Для решения второй задачи — выяснения зависимости «магнетизма» от размеров железных стержней — исследовалась зависимость «магнетизма» от диаметра и длины стержней.

Изучение зависимости «магнетизма» от диаметра стержней проводилось на той же схеме (рис. 16). «Магнетизм» замерялся для 10 цилиндров диаметром от 4 до 76,2 мм. Была получена линейная зависимость, которую авторы выразили графически (рис. 18).

Якоби и Ленц об этих кривых писали: «Трудно предположить, чтобы эти кривые могли вполне строго представлять прямые линии, но все же следовало бы посмотреть, не

будет ли такое допущение достаточно для потребностей практики. На первых порах можно было бы удовлетвориться таким приближением, имея в виду многочисленные источники ошибок, присущие этим исследованиям и самому этому методу».

Нам представляется, что полученная Якоби и Ленцем закономерность не является правильной вследствие несовершенства метода измерений. Для получения характеристик магнитного материала путем измерений необходимо из магнитной цепи исключить воздушные зазоры, искажающие результаты измерений. Исследования магнетиков в настоящее время проводятся на сплошных образцах; чаще всего берется тороид. Если же испытываются образцы цилиндрического или прямоугольного сечения, то их помещают в специальные устройства — пермеаметры. Магнитный поток исследуемого образца замыкается через магнитопровод пермеаметра. При таком определенном характере магнитной цепи возможно получить данные, отражающие зависимость магнитного потока от размеров железа.

Якоби и Ленц проводили опыты над железными сердечниками, магнитная цепь которых в большей своей части замыкалась через воздух. Поэтому по их схеме измерялась не зависимость магнитного потока, возбуждаемого в магните, от диаметра сердечника, а изменения магнитного потока установки (электромагнит + воздух). Однако вне зависимости от правильности вывода Якоби и Ленца с современной точки зрения их исследование имело большое значение. Оно дало толчок работам ряда ученых в этом направлении.

При определении зависимости «магнетизма» от длины стержней в основу была взята следующая гипотеза: «Если приложить к магнитному бруски якорь из мягкого железа, ... то мы можем принять, что количество разложенной магнитной материи, или общий магнетизм, который развивается в этом мягким железе, пропорционален свободному магнетизму того места магнитного бруска, к которому приложен якорь [Л. 45].

Ученые несколько изменили измерительную схему (рис. 19), но принцип измерений остался тот же.

На рис. 19 *ab* и *cd* — исследуемые железные стержни с навитыми на них катушками;  
*ef*, *gh* — подковообразные якоря с катушками на каждом конце;  
*W*, *W'* — весы Беккереля;

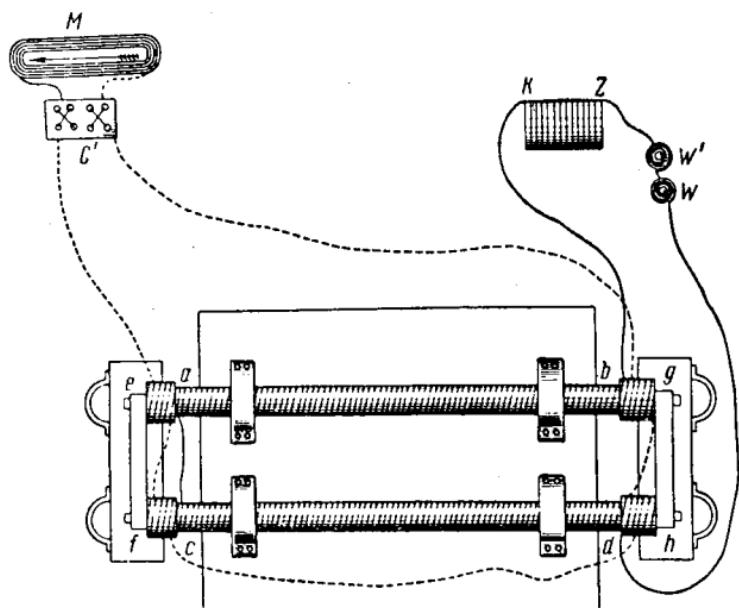


Рис. 19. Измерительная схема, использовавшаяся Якоби и Ленцем для изучения зависимости „магнетизма“ от длины стержней.

*M* — мультиплексор (гальванометр);

*c'* — переключатель;

*kz* — гальваническая батарея Волластона.

Измерения проводились для 6 пар стержней диаметром 38 *мм* и длиной от 0,15 до 0,91 *м*.

### Ход опытов

- 1) Замыкалась цепь батареи.
- 2) Устанавливалась постоянная сила тока регулировкой погружения пластин в электролит.
- 3) Одновременно отрывались от стержней оба якоря *ef* и *gh*.

4) Фиксировался отброс стрелки гальванометра *M*.

Проведенные 2 серии наблюдений привели ученых к выводу о независимости «магнетизма» от длины стержней.

Нам представляется, что этот вывод неточен. Это можно показать следующим образом. Если взять бесконечно длинный цилиндрический сердечник с равномерно наложенной обмоткой, то его можно рассматривать как замкнутый магнитопровод, в магнитном отношении подобный тороиду.

Для последнего магнитный поток выражается формулой:

$$\Phi = \frac{4\pi\mu\omega Is}{l}.$$

Если цилиндрический сердечник имеет конечную длину, но достаточно большую по сравнению с его диаметром, то для этого случая можно провести некоторую аналогию с тороидом, имеющим воздушный зазор  $\delta$  (рис. 20), для которого

$$\Sigma\Phi R_m = I\omega; R_m = \frac{l}{\mu_0\mu s} + \frac{\delta}{\mu_0 s}^*,$$

где  $I$  — намагничивающий ток;

$\omega$  — число витков;

$s$  — площадь поперечного сечения стержня;

$R_m$  — общее магнитное сопротивление.

Воздушный зазор в тороиде приводит к увеличению магнитного сопротивления и уменьшению магнитного потока  $\Phi$  при той же удельной н. с. При достаточно большом зазоре магнитное сопротивление, а следовательно и магнитный поток, будет определяться в основном величиной этого зазора. Ясно, что для цилиндрического сердечника конечной длины (отношение  $\frac{l}{d}$  не-

велико) величина магнитного сопротивления определяется также сопротивлением про-

странства, в котором магнитные силовые линии замыкаются вне сердечника.

Поскольку Якоби и Ленц производили измерения именно на таких сердечниках, они и зафиксировали независимость «магнетизма» от длины стержней.

Необходимо отметить, что уже к концу работ по исследованию электромагнитов, т. е. примерно к 1843 г., у Якоби и Ленца появились сомнения в справедливости полученной ими закономерности.

\* Имеется в виду, что  $\delta \ll l$ .

Несколько позже Ленц и Якоби провели исследования распределения «магнетизма» по длине железных сердечников электромагнитов. Эти исследования составили третий раздел труда. Из опыта работы с электромагнитами при конструировании электрических машин, а также в результате предварительных экспериментов возникло предположение, что для достижения наибольшего намагничивания важным фактором является положение намагничающих катушек по длине сердечника. Кроме того, авторы к этому времени уже отмечали, что величина возбужденного магнетизма «представляет более сложную функцию длины железного сердечника». Для изучения характера распределения «магнетизма» по длине железного стержня Ленцем и Якоби на основании их прежних работ по электромагнитам был разработан способ измерений. Ученые считали, что если мысленно разделить электромагнит на несколько слоев и на каждый из этих слоев накладывать катушку, то измеренный индукционный ток будет пропорционален общему количеству «магнитной жидкости», расположенной в этом слое, находящемся непосредственно под индукционной катушкой». В условиях опыта «количество расположенной магнитной жидкости» можно считать магнитной индукцией, так как гальванометр измерял величину, пропорциональную магнитному потоку, а работы велись со стержнями одного диаметра ( $\Phi = Bs$ ). Брались 7 стержней диаметром 44,5 мм и длиной от 0,3 до 1,2 м, полностью покрытые витками первичной катушки, включенной в цепь гальванической батареи.

Измерительная катушка имела длину 25,4 мм и состояла из 123 витков. Она могла свободно передвигаться вдоль стержня, покрытого намагничающей катушкой. Как очевидно из сравнения длины стержней и длины измерительной катушки, каждый электромагнит разбивался минимум на 12 частей, максимум на 48, что давало достаточно большую точность измерений. Сила тока в опыте поддерживалась постоянной уже с помощью вольтагометра, изобретенного к тому времени Якоби. Кроме того, применение батареи Грове, дававшей более постоянную э. д. с., также облегчало проведение измерений. Замеры по-прежнему проводились для токов двух направлений. Результаты многочисленных измерений были представлены в виде кривых рис. 21. При оси абсцисс откладывалась длина цилиндров, по оси ординат — в определенном масштабе «магнетизм», т. е. магнитная индукция. Пунктиром

нанесены кривые, построенные по данным, вычисленным по формуле:

$$z = a - b^2y,$$

где  $z$  — ордината;

$y$  — абсцисса;

$a, b$  — некоторые постоянные.

Это уравнение было взято авторами, исходя из сходства полученных экспериментальных кривых с параболой.

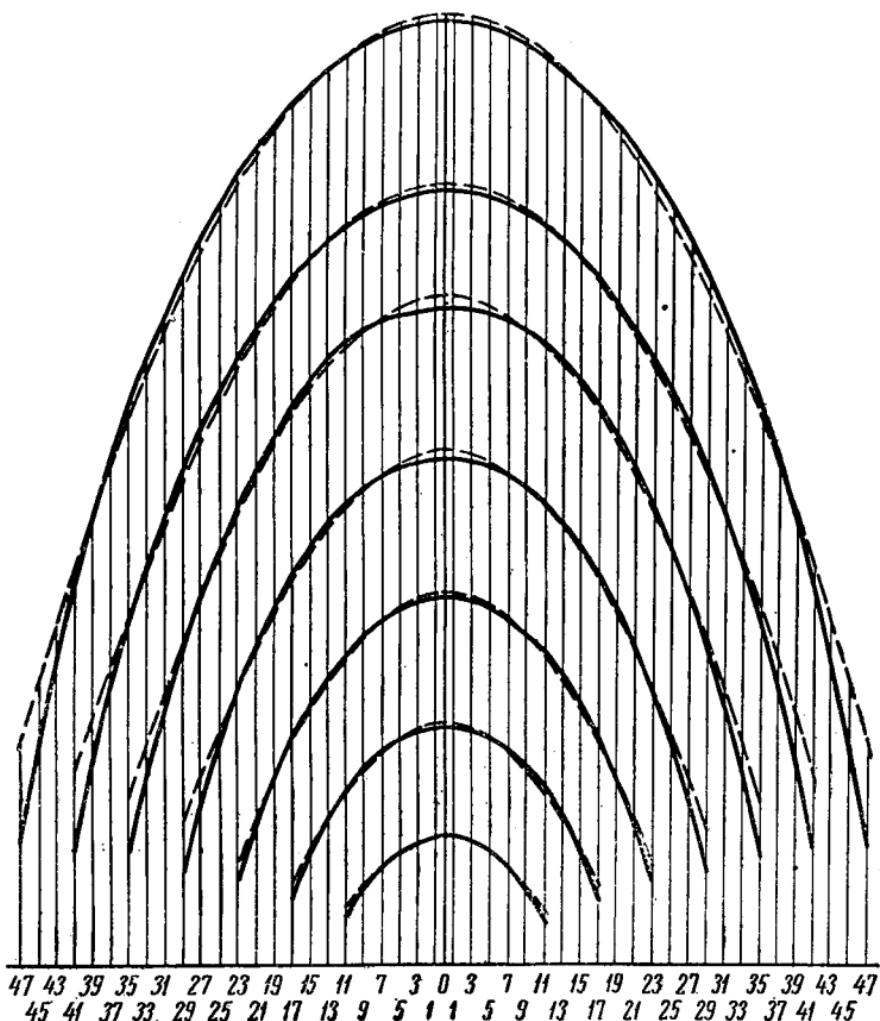


Рис. 21. Кривые, полученные Якоби и Ленцем и дающие характер распределения „магнетизма“ по длине железных сердечников.

Из этой же серии опытов Ленц и Якоби смогли сделать совершенно правильный вывод о том, что «сумма количеств магнетизма, наблюденная в отдельных слоях, равна общему измеренному количеству разложенной магнитной жидкости» [Л. 45, стр. 323], т. е. что магнитная индукция всего электромагнита равна сумме магнитной индукции каждого из отдельных участков.

В приложении к работе «О законах электромагнитов» были приведены опыты Якоби и Ленца над распределением «магнетизма» по длине железных стержней вне намагничивающей катушки.

В 1839 г. Якоби и Ленцем было проведено также исследование силы притяжения электромагнитов. Поводом для него послужили ошибки в показаниях весов Беккереля, обнаруженные в опытах с электромагнитами. Как выяснили ученые, ошибки в показаниях весов происходили оттого, что в постоянных магнитах *a* и *b* (рис. 17) при их взаимодействии с катушками возникали индукционные токи, которые уменьшали силы притяжения и отталкивания, и весы показывали токи меньшие, чем они были в действительности. Ленц и Якоби считали, что сила отталкивания, развиваемая между постоянным магнитом и намагничивающей катушкой, будет пропорциональна произведению  $Ms$ , где *M* — «магнетизм» стального магнита, *s* — сила тока, обтекающего катушку.

Магнитная индукция, которая возбуждается в постоянном магните при воздействии на него поля катушки, согласно найденным законам, будет пропорциональна произведению  $sn$ , где *n* — фактор, зависящий от расстояния между взаимодействующими элементами и «некоторых других обстоятельств». «Магнетизм» стального стержня будет равен  $M - sn$ , а сила отталкивания —  $s(M - sn) = sM - ns^2$ .

На основании этого уравнения Ленц и Якоби пришли к заключению о том, что сила притяжения электромагнитов пропорциональна произведению намагничивающих токов. Этот вывод не совпадал с данными других ученых (Фехнер, Даль-Негро), а также и с ранними опытными данными самого Якоби, говорящими о линейной зависимости силы притяжения и тока. Поэтому Ленцем и Якоби был проделан ряд экспериментов, подтверждающих их заключение о квадратичной зависимости силы притяжения и тока.

На рис. 22 дана схема измерений:

- a* и *b* — электромагниты, сила притяжения которых исследуется (она имели различную длину и сечение);  
*c* — деревянная прокладка, препятствующая непосредственному соприкосновению магнитов;  
*T* — тангенс-буссоль (гальванометр) Нервандера;  
*B* — батарея элементов;  
*p* — чашечки со ртутью;  
*Г* — гири.

Сила притяжения магнитов определялась весом гирь, которые прибавлялись до тех пор, пока магнит *a* не отрывался от магнита *b*. За единицу веса был взят 1 золотник (4,2662 г). Во всех опытах была получена квадратичная зависимость силы притяжения от тока.

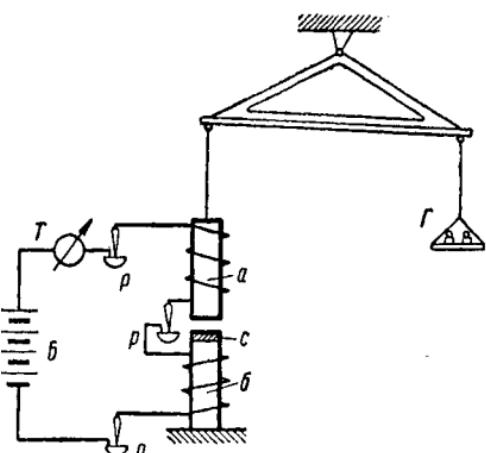


Рис. 22. Схема измерения силы взаимодействия электромагнитов.

очень высоко, так как в потоке многочисленных, но неверных, а порой до абсурда доходящих выводов экспериментаторов о свойствах электромагнитов Якоби и Ленц получили самые точные результаты, которые только были возможны в условиях того времени.

Академик Г. И. Вильд в 1875 г., т. е. почти через 40 лет после работ Якоби и Ленца по электромагнитам, писал: «Исследования обоих ученых по этому вопросу (над электромагнитами) могут быть названы образцовыми, а результаты их до сих пор остаются главными законами электромагнитов, несмотря на некоторые добавления и небольшие изменения, внесенные в них усовершенствованием инструментов и методов» [Л. 10].

После работ Максвелла стало очевидно, что сила притяжения электромагнитов является функцией магнитной индукции, но при слабых полях, с которыми работали Якоби и Ленц, магнитная индукция пропорциональна напряженности магнитного поля, т. е. в конечном счете току.

Исследования электромагнитов, проведенные Б. С. Якоби и Э. Х. Ленцем, следует оценить

Профессор Ф. Ф. Петрушевский в своем известном «Курсе наблюдательной физики» (1870—1872 гг.) писал: «Вообще вопрос об электронамагничении принадлежит к числу весьма запутанных и руководящей нитью здесь могут служить законы Ленца и Якоби, которые вполне приложимы в известных случаях» [Л. 59].

## *Работы по теории электрических машин*

Результаты исследования электромагнитов имели большое теоретическое и практическое значение. Однако дальнейшие работы над электрическим двигателем показали, что зависимости, установленные для электромагнитов, разъясняли только некоторые стороны процессов в машине и, будучи выведены для статической системы, не давали необходимых данных для построения электродвигателя. Якоби было ясно, что в движущейся машине происходят более сложные процессы, чем это имеет место в стержневом электромагните. Весьма наглядно Якоби показывает роль исследований над электромагнитами для конструирования электромашин в одном из своих докладов Академии наук. Пользуясь понятной для его современников аналогией, он пишет: «Эти труды (над электромагнитами) относятся почти исключительно только к статическому состоянию указанных машин (электромагнитных) и так же относятся к вопросу о мощности и экономическом действии машины, как опыты по определению давления насыщенного водяного пара при различных температурах к вопросу о работе паровой машины».

Таким образом, вопрос о закономерностях работы электрических машин и после исследований электромагнитов продолжал оставаться острым. Якоби, как он заявил в 1840 г. в докладе съезду британских естествоиспытателей, «решил все свои силы посвятить выявлению законов, управляющих работой этих замечательных машин». Его труды увенчались успехом: 29 мая 1840 г. Якоби сделал Петербургской академии наук первое сообщение об установленных им закономерностях для электрических машин. Это же сообщение явилось частью доклада Якоби съезду британских естествоиспытателей «О принципах электромагнитных машин» [Л. 90]. Оба доклада знакомили лишь с кочечными выводами.

В 1850 г. Якоби представил Академии наук доклад «О теории электромагнитных машин» [Л. 102]. Опубликование этого труда в 1850 г., т. е. тогда, когда Якоби уже

отошел от работы над проблемами электрических машин, было продиктовано желанием дать полное изложение полученных им научных результатов. Это было тем более необходимо, что за истекшие 10 лет «...не сумели,— как писал Якоби,— ни придать законам, о которых идет речь, достаточной известности, которую они заслуживают, ни устранить ошибки, которые могли быть предупреждены этими законами, правильно установленными и понятыми».

В работе 1850 г. ученый подробно излагает найденные им в 1840 г. закономерности действия электрических машин, выводы и следствия, из них вытекающие. Для понимания этого труда Якоби следует иметь в виду, что в своем анализе ученый исходил из особенностей конструкции изобретенного им двигателя. Однако он неоднократно подчеркивал, что полученные им результаты приложимы к электромагнитному двигателю любой конструкции.

Какие параметры Якоби считал наиболее важными, определяющими действие электрических машин? Этими параметрами были: скорость вращения, величина действующих электромагнитных сил, мощность, и, наконец, «экономический эффект», т. е. к. п. д. машины.

Основными положениями, принятymi Якоби при анализе работы электрических машин, были принцип сохранения энергии, закон электромагнитной индукции, закон Ома и установленные Якоби и Ленцем закономерности для электромагнитов.

Базируясь на этих передовых научных представлениях, Якоби стремился сделать столь же научным и теоретически осмысленным и конструирование электрических машин.

Анализ работы электрической машины Якоби начал с рассмотрения тормозного режима двигателя. В заторможенном двигателе движущая сила — сила взаимодействия между подвижными и неподвижными магнитами — будет уравновешиваться приложенным к валу механическим тормозным усилием. По закону Ленца и Якоби намагничивающая сила  $m$  равна силе тока, умноженной на число витков, а сила притяжения между электромагнитами  $\mu$  — произведению «магнитных сил» или пропорциональна квадрату намагничивающего тока (считая, что обе системы обтекает один и тот же ток):

$$m = i\beta^*,$$

где  $i$  — ток;

$\beta$  — число витков,

\* Здесь и далее сохранены обозначения Якоби.

а сила взаимных притяжений электромагнитов

$$\mu = m^2 = i^2 \rho^2.$$

По закону Ома ток

$$i = \frac{nk}{\rho}, \quad (10)$$

где  $n$  — число элементов в батарее;

$k$  — э. д. с. элемента;

$\rho$  — полное сопротивление цепи, складывающееся из сопротивления обмотки электромагнитов, сопротивления гальванометра и внутреннего сопротивления батареи.

Тогда

$$m = \frac{\beta nk}{\rho} \quad (11)$$

и

$$\mu = \frac{\beta^2 n^2 k^2}{\rho^2}. \quad (12)$$

Формулы (10), (11), (12), выведенные для заторможенного двигателя, не могли дать описание процессов, происходящих во вращающемся двигателе. Причины этого Якоби видел в том, что при движении машины сила притяжения электромагнитов не оставалась постоянной, а менялась в зависимости от взаимного расположения электромагнитов, т. е.  $\mu = \phi(s)$ , где  $s$  — расстояние между полюсами. На это обстоятельство, как мы отмечали выше, Якоби обратил внимание еще в своих «Заметках» в 1835 г. Тогда он писал, что «сила магнитного притяжения (электромагнитов) будет, вероятно, обратно пропорциональна квадрату или кубу расстояния». Со времени Кулона<sup>1</sup> было известно, что сила взаимодействия постоянных магнитов определяется формулой  $f = k \frac{m_1 m_2}{r^2}$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц,  $m_1$  и  $m_2$  — количество магнетизма (подобно количеству электричества),  $r$  — расстояние между магнитами.

При полной неизученности свойств электромагнитов Якоби не мог распространить тогда закон Кулона о взаимодействии постоянных магнитов на электромагниты. Но в ре-

<sup>1</sup> Работы Кулона о магнитном притяжении и отталкивании были представлены в Парижскую академию наук в 1785—1788 гг.

зультате своих работ он, вероятно, имел основания предполагать аналогию между законами взаимодействия постоянных магнитов и электромагнитов.

Второе обстоятельство, на которое указывал Якоби, заключалось в том, что при движении машины имеет место так называемая «коэрцитивная сила», влияющая на величину движущей силы  $\mu$ . Интересно выяснить, что Б. С. Якоби понимал под «коэрцитивный силой». Поскольку он, несомненно, не знал о существовании пульсаций гистерезиса, с которыми связано современное понятие о коэрцитивной силе, то это понятие у Якоби определяло другое явление.

Как писал учёный, с понятием «коэрцитивной силы» он связывал то обстоятельство, что при изменении направления тока в обмотке электромагнитов намагничение сердечников происходило не мгновенно, т. е. «магнетизм» не сразу достигал своего максимального значения.

Это явление действительно должно было иметь место в его машине. Оно может быть объяснено путем несложных расчетов, которые будем вести приблизительно, так как нам необходим только порядок величин. Для этого рассмотрим двигатель конструкции 1834 г. (рис. 8), ибо только для него известны все необходимые данные. Уточним параметры обмотки. Обмотка электромагнитов двигателя обладала некоторой индуктивностью и сопротивлением. Длина всей обмотки электромагнитов составляла 320 футов или 96 м. Диаметр провода обмотки  $d_{\text{провод}}$  составлял  $1\frac{1}{4}$  линии  $\approx 3,2$  мм. Таким образом, сопротивление всей обмотки:

$$r_{\text{обм}} = 0,0175 \cdot \frac{96}{3,14 \cdot \frac{3,2^2}{4}} = 0,22 \text{ ом.}$$

Стержни, на которые была наложена обмотка, имели размеры: длина  $l_{\text{ст}} = 7'' \approx 18$  см, диаметр  $d_{\text{ст}} = 1'' \approx 2,54$  см.

Длина одного витка составляла

$$2\pi(r_{\text{ст}} + r_{\text{пр}}) = 3,14 \cdot 2,86 \approx 9 \text{ см.}$$

Естественно предположить, что на образование витков обмотки на стержнях расходовался не весь провод. Часть его тратилась на соединение обмоток стержней друг с другом, подвижной и неподвижной систем — с коммутатором и батареей. Кроме того, необходимо учесть и толщину изоляции стержней. Поэтому будем считать, что в общей сложности на образование витков шло порядка 75—80 м провода.

Отсюда обмотка имела всего

$$W = \frac{75}{0,09} = 830 \text{ витков.}$$

Число обмотки на подвижной части двигателя составляет половину от общего числа витков:

$$W_{\text{подв}} = \frac{W}{2} = 415 \text{ витков.}$$

На одном стержне подвижной части было намотано:

$$W_1 = \frac{W_{\text{подв}}}{8} = 50 \text{ витков.}$$

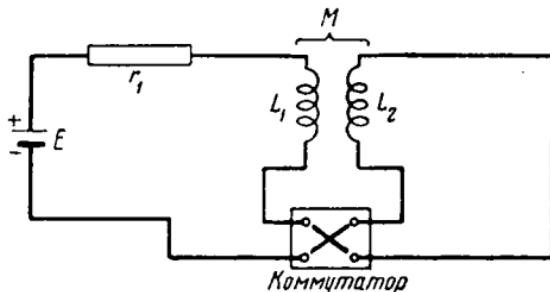


Рис. 23. Расчетная схема для коммутации.

Тогда индуктивность одной катушки (на одном стержне) без учета железа будет:

$$L = 0,0395 \frac{R^2 W^2}{l} = 0,0395 \frac{2,25 \cdot 2500}{18} \approx 10 \text{ мкГн.}$$

Если ориентировочно принять, что наличие железа увеличивает индуктивность в 10 раз, то индуктивность одной катушки

$$L' = 100 \text{ мкГн.}$$

Теперь, когда мы примерно установили параметры обмотки, составим расчетную схему для коммутации (рис. 23).

Здесь  $r_1$  — суммарное сопротивление всей обмотки и внутреннее сопротивление батареи;

$L_1$  — индуктивность неподвижной обмотки,

$L_2$  — индуктивность подвижной обмотки;

$$L_1 = L_2 = 800 \text{ мкГн.}$$

Если не учитывать взаимной индукции, то постоянная времени цепи

$$\tau = \frac{L_1 + L_2}{r_1}.$$

Приняв, что  $r_{\text{бат}} = r_{\text{обм}}$ , получим  $r_1 = 0,44 \text{ ом.}$

Тогда

$$\tau = \frac{800 + 800}{0,44} \cdot 10^{-6} = 3650 \text{ мксек.}$$

Сравним это время с промежутком времени между двумя коммутациями, следующими друг за другом

$$\tau_1 = \frac{1}{\frac{n}{60} \cdot n_k} = \frac{60}{120.8} = \frac{1}{16} \text{ сек} = 0,062 \text{ сек} = 62000 \text{ мксек},$$

где  $n$  — число оборотов двигателя;

$n_k$  — число коммутаций за один оборот.

Таким образом, постоянная времени цепи составляет  $\frac{3650 \cdot 100}{62000} \approx$

$\approx 6\%$  от промежутка коммутации (переключения на коммутаторе).

Отсюда видно, что максимальный ток (установившийся), а следовательно, и максимальное намагничение имеет место примерно в тот момент, когда подвижная часть машины пройдет больше  $\frac{1}{5}$  пути до следующей встречи полюсов (до следующей коммутации).

Поскольку сила притяжения электромагнитов обратно пропорциональна квадрату расстояния, то это явление, на которое обратил внимание Якоби и назвал задерживающей (коэрцитивной) силой, вредно отражалось на действии машины.

Б. С. Якоби считал, что при расчете также должно учитываться влияние обратной э. д. с. Следует сказать, что ученым было отмечено несогласие расчетных и экспериментальных данных, отражающих зависимость индуктируемой э. д. с. от скорости вращения. Он подчеркивал, что это несогласие наступало только после достижения скоростью и э. д. с. определенных значений. Не зная магнитных характеристик железа, Якоби не мог правильно понять причину такого несоответствия. Но уже тогда он предполагал, что это явление связано с особенностями поведения железного сердечника в магнитном поле. В действительности, правильное соотношение между наводимой э. д. с. и скоростью вращения, конечно, не нарушалось. Но в своих расчетах Якоби исходил из закона пропорциональности между силой тока и намагничением железа, который не был справедлив в областях, близких к насыщению железа. Как только напряженность магнитного поля достигала величины, при которой осуществлялось насыщение железа, фиксировалось расхождение опытных и вычисленных данных.

Для учета влияния, которое оказывают на величину обратной э. д. с. качество железа, форма и размеры железных сердечников, расстояние между их концами, т. е. вообще конструкция магнитной цепи, Якоби был введен коэффициент  $\alpha$ .

Проанализировав факторы, влияющие на параметры двигателя при его вращении, Якоби находит выражения для рабочего тока  $i'$  и противотока  $i_1$ , индуцируемого при вращении машины:

$$i_1 = i - i'. \quad (13)$$

Имея в виду закон электромагнитной индукции, а также уравнение

$$m' = \beta i', \quad (14)$$

где  $m'$  — «магнетизм» катушек при установившемся режиме, он получает:

$$i_1' = \frac{\alpha m' \beta V}{\rho}, \quad (15)$$

где  $V$  — скорость машины в установившемся режиме,

$$i_1 = \frac{\alpha \beta^2 i' V}{\rho} \quad (16)$$

и

$$i' = \frac{i \rho}{\rho + \alpha \beta^2 V}, \quad (17)$$

но

$$i = \frac{nk}{\rho},$$

тогда

$$i' = \frac{nk}{\rho + \alpha \beta^2 V}; \quad (18)$$

$$m' = \frac{\beta nk}{\rho + \alpha \beta^2 V}; \quad (19)$$

$$V = \frac{\beta nk - m' \rho}{m' \alpha \beta^2}. \quad (20)$$

Справедливо полагая, что во всякой машине, в том числе и в электромагнитной, в установившемся режиме сумма движущих сил равна сумме сил сопротивления, учений пишет уравнения:

$$R = \mu' = m'^2, \quad (21)$$

где  $R$  — силы сопротивления, действующие на машину,

$$RV = \mu' V. \quad (22)$$

По уравнению (18)

$$R = \frac{(\beta n k)^2}{\rho + \frac{\mu}{2} V^2}. \quad (23)$$

Далее в рассмотрение вводится новый фактор — мощность машины  $T$ , равная произведению  $RV$ , для которой находятся максимальные величины при разных значениях силы и скорости.

Для этого берутся производные  $\frac{dT}{dR}$  и  $\frac{dT}{dV}$  и приравниваются нулю.

Из этих уравнений получают значения для  $R_0$  и  $V_0$ , соответствующие максимальной мощности, развиваемой машиной:

$$R_0 = \frac{\beta^2 n^2 k^2}{4\rho^2} \quad (24)$$

и

$$V_0 = \frac{\rho}{2\beta^2}. \quad (25)$$

Для двигателя Якоби, как мы говорили, движущими силами являются силы притяжения (отталкивания) электромагнитов. Уравнение (24) правильно определяет величину этих сил.

Перепишем уравнение (24), пользуясь современными обозначениями:

$$f = \frac{w^2 E^2}{4R^2} \equiv I^2 w^2 \equiv B^2,$$

где  $f$  — механическая сила притяжения электромагнитов;  
 $w$  — число витков;

$E$  — э. д. с. батареи;

$I$  — сила тока;

$R$  — электрическое сопротивление цепи;

$B$  — магнитная индукция.

Действительно, если рассматривать машину без учета потерь и считать магнитную проницаемость  $\mu=1$  (так как основная часть длины магнитных силовых линий проходит в воздухе), то магнитодвижущая сила

$$F = Iw = \oint H dl = \oint B dl,$$

тогда

$$Iw \equiv B \text{ и } f \equiv B^2.$$

После того, как были определены  $R_0$  и  $V_0$ , находилось выражение для наибольшей мощности, которую Якоби обозначает  $T_0$ :

$$T_0 = \frac{n^2 k^2}{4 \times \rho} \quad (26)$$

или в современных обозначениях

$$P \equiv \frac{E^2}{R},$$

где  $E$  — электродвижущая сила;

$P$  — мощность;

$R$  — электрическое сопротивление.

Формула (26), содержащая глубокий энергетический смысл, имеет исключительно большое значение для теории электрических машин. Она показывает, что определенная механическая мощность на валу двигателя может быть получена только путем затраты пропорционального количества электрической энергии (в данном случае от гальванического элемента). Якоби, анализируя эту формулу, специально обращает внимание на совпадение его формулы с формулой Ленца для теплового эквивалента электричества ( $Q = I^2 R$ ). Однако сделать какой-либо вывод из этого совпадения Якоби не решился. Сейчас в свете закона сохранения энергии понятен смысл формул, количественно характеризующих процесс превращения химической энергии гальванического элемента посредством электричества в одном случае в механическое, а в другом случае в тепловое движение.

Сам факт получения Якоби такой закономерности и со-поставления ее с результатами исследований Ленца весьма интересен с точки зрения истории открытия закона сохранения и превращения энергии. Он еще раз показывает, что к началу 1840-х годов многие ученые, в том числе и Б. С. Якоби, совершенно независимо друг от друга исследуя различные явления, подходили к пониманию этого всеобщего закона природы. Выводы Якоби показывают, что ученый стоял на правильных позициях и к 1840 г. уже понимал характер энергетических преобразований, имеющих место в электродвигателе.

Кроме вышеизложенного, из формул (24), (25) и (26) вытекает, что:

а) для получения от двигателя наибольшей мощности нагрузка должна составлять  $1/4$  часть от суммы сил притя-

жения магнитов в состоянии покоя. Этот вывод очевиден из сравнения уравнений (24) и (12).

б)  $T=0$  при  $R=0$ , т. е. когда нагрузка отсутствует и  $V=\infty$ , и при  $R=\frac{\beta^2 n^2 k^2}{\rho}$ , когда машина имеет нагрузку, равную величине ее движущей силы в тормозном режиме и  $V=0$ ;

в) величины силы магнитного притяжения  $\mu'=R_0$  и скорости  $V_0$  определяются конструкцией обмотки электромагнитов и сопротивлением цепи.

Изменением числа витков обмотки можно в необходимом соотношении варьировать величины силы и скорости, однако их произведение, т. е.  $T_0=R_0V_0$ , будет оставаться при этом неизменным;

г) в электрическом двигателе скорость, с которой он вращает приводимую установку, может изменяться без всяких передаточных устройств за счет соответствующих внутренних переключений (числа витков  $\beta$  и сопротивления  $\rho$ ).

Специальному изучению Б. С. Якоби подверг вопрос о соотношении между затратами на эксплуатацию установки и величиной получаемой механической энергии. Опыт электропривода судна показал ученому, что расходы на эксплуатацию электродвигателя определяются в основном расходами на гальванические батареи.

По закону Фарадея количество металла, выделившееся в результате электролиза, пропорционально току. Тогда расходы при работе двигателя на максимальной мощности будут равны:

$$q'_0 = i' n = \frac{n^2 k}{2\rho}; \quad (27)$$

$$i'_0 = \frac{nk}{2\rho}; \quad (28)$$

$$T_0 = \frac{kq'_0}{2x}. \quad (29)$$

Сравнение тока, соответствующего максимальной мощности машины (28), с током машины в заторможенном состоянии (12) показывают, что первая составляет половину от второй, т. е.  $i'_0 = \frac{i}{2}$ . Это обстоятельство давало воз-

можность фиксировать по показаниям гальванометра режим работы двигателя на максимальную мощность, а также сопоставлять машины различной конструкции в смысле развиваемой ими максимальной мощности.

Формула (29) освещала вопрос о соотношениях мощности, получаемой от электродвигателя, и затратами на эксплуатацию. Она показывала, что для электрического двигателя мощность также пропорциональна затратам, как это имеет место и для других машин. Необходимо вспомнить, что в начале своей деятельности в области электрических машин Б. С. Якоби, увлеченный, как и многие его современники, выяснением преимуществ электрических машин перед другими машинами, считал, что электрические двигатели смогут дать больше, чем будет затрачено на приведение их в действие. В 1834 г. в докладе Парижской академии наук Якоби писал: «Новый двигатель не подчинен имевшему до сего времени силу закону пропорциональности между эффектом и затратами». Дальнейшие работы над построением двигателя показали Якоби, что дело обстоит далеко не так, как он предполагал раньше. В рассматриваемой работе ему удалось и теоретически доказать пропорциональность затрат на питание электродвигателя и получаемого эффекта. Как раз об этом и говорят формулы (26) и (29). Из этих же уравнений очевидно, что максимальная мощность двигателя возрастет с увеличением напряжения источника питания. В частности, Якоби указывает, что э. д. с. батареи Грове в  $1\frac{3}{4}$  раза больше э. д. с. батареи Даниэля и что первую, следовательно, выгоднее применять для привода машин.

По известным максимальной мощности двигателя  $T_0$  и соответствующему расходу металла в гальванической батарее  $q_0$  Якоби рассчитал «экономический эффект» установки  $E$ :

$$E = \frac{T_0}{q_0} = \frac{k}{2\kappa}. \quad (30)$$

Как очевидно из выражения (30), «экономический эффект» установки, т. е. ее отдача, определяется электродвигущей силой батареи. На основании этого уравнения Якоби был сделан существенный вывод о решающем значении экономичности источника электрического тока в вопросе внедрения в практику электродвигателя. Необходимо было в первую очередь разрешить проблему получения дешевого источника электрического тока, а уже затем — задачу прак-

тического использования электричества для получения механической работы. Но все внимание Якоби в отношении генератора электрической энергии было направлено на гальванические батареи<sup>1</sup>. Опыт подсказывал Б. С. Якоби, что создать гальванический элемент с э. д. с., значительно превосходящей э. д. с. элементов Даниэля, Грове и т. п., не представляется возможным. Поэтому единственный путь для уменьшения расходов по эксплуатации гальванических элементов он видел в промышленном использовании электрохимических продуктов, получающихся при работе гальванических элементов, и в совмещении гальванопластического и электромеханического процессов. Однако вскоре несложными расчетами ученый показал, что совмещение гальванопластического и электромеханического процессов не так выгодно, как кажется на первый взгляд, ибо производительность гальванопластических работ при этом снижается примерно на 50%.

На основании уравнения, выведенного для к. п. д. установки, Якоби делает еще один чрезвычайно важный для того времени вывод, а именно, что увеличение мощности машины не может идти за счет увеличения размеров машины без соответствующего усиления источника питания. «Не удастся получить от фунта цинка больший полезный эффект, увеличивая только, как это думали делать, размеры машины моей системы», — писал он [Л. 102].

Якоби был также произведен расчет максимальной мощности, которую может дать гальваническая батарея данных размеров, и максимальной механической работы, получающейся от электромагнитов при их наибольшем намагничивании.

Все расчеты, сделанные Якоби, справедливы не для отдельного электродвигателя, а для установки, состоящей из источника энергии конечной мощности (т. е. с определенным внутренним сопротивлением) и двигателя. Кроме того, расчеты правильны только для двигателей с последовательным включением обмоток подвижной и неподвижной систем машины, т. е. при условии, когда обе системы обтекают один и тот же ток. Также следует иметь в виду, что исходной предпосылкой Якоби при выводе уравнений было положение о пропорциональности тока намагничению железа, что, как известно, справедливо только в определенных границах.

<sup>1</sup> О причинах этого см. гл. 5.

Следует отметить, что в своих расчетах Б. С. Якоби стремился получить данные для случая, когда двигатель работал с максимальной мощностью. То обстоятельство, что при этом отдача машины (к. п. д.) не могла превысить 50%, вплоть до последней четверти XIX в. считалось неизбежным условием действия электродвигателя.

Основное значение работы Якоби по теории электрических машин, на наш взгляд, заключается в выяснении энергетической сущности процессов при использовании электродвигателей. Ученый показал, что механическая мощность, которую может развить электрический двигатель, пропорциональна затратам на производство электрической энергии; что увеличение мощности двигателя связано с увеличением подводимой энергии, а не только с увеличением габаритов двигателя, как думали в его время; наконец, Якоби показал, что вопрос о широком практическом использовании электродвигателей не может быть решен впредь до создания экономичного источника электрического тока.

Таким образом, работы Якоби по теории электромашин покончили с иллюзиями многих изобретателей и ученых относительно даровой механической работы, которую якобы можно получить от электродвигателя. Они впервые показали, что и к электрическим машинам применимы общие законы энергетических преобразований. Работы Якоби указали направление, по которому надо было идти для того, чтобы в конце концов разрешить задачу промышленного использования электродвигателя — совершениеование источника электрической энергии. Здесь необходимо подчеркнуть, что в процессе изучения электрического двигателя Якоби было обнаружено явление обратимости электрической машины. Но оценить значение своего наблюдения, а также работ Э. Х. Ленца по этому вопросу Якоби не смог, а этим самым не смог правильно указать на источник энергии, с которым оказалась связана будущность электродвигателей. Громадной заслугой Якоби является то, что в обстановке полной неизученности электрических двигателей он первый смело взялся за их анализ и сумел получить результаты, разъяснившие многие неясные проблемы их создания. Работа Якоби целиком или в выдержках была опубликована в ряде европейских научных журналов («Polytechnisches Journal», «Annalen der Physik und Chemie», «Journal für Physik und physikalische Chemie des Anstandes» и др.).

Формулы, полученные Якоби, долгое время оставались единственными, могущими характеризовать работу электрических двигателей. И только в 1870—1880 гг., после того, как успехи электромашиностроения обеспечили построение практически пригодного электромашинного генератора, после того, как были объединены пути развития генератора и двигателя и, наконец, после того, как появились мощные потребители электроэнергии (электрическое освещение, электропривод и пр.), началась дальнейшая глубокая разработка теории электрических машин, начала которой в конце 1830-х годов были заложены Б. С. Якоби.

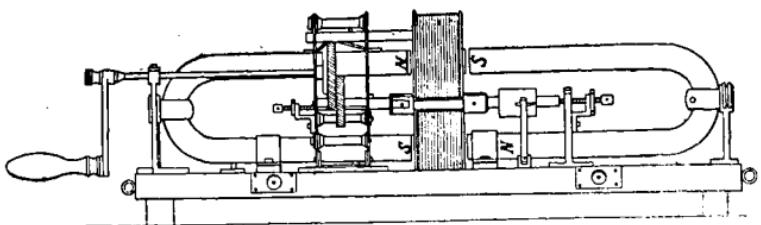


Рис. 24. Генератор Б. С. Якоби.

В области электрических машин Якоби принадлежат некоторые труды по электромашинным генераторам. Эти исследования проводились им в основном в связи с работами по военной электротехнике.

Как уже отмечалось, Якоби, работая над электродвигателем, ориентировался на гальванические элементы, как на источник электрического тока. И только после того, как опыты показали, что практическое использование электродвигателей упирается в неэкономичность электрохимического генератора, он занялся исследованием электромашинных генераторов. Его прежде всего заинтересовал вопрос о возможности применения электромашинного генератора для питания промышленных установок. По этому поводу Якоби писал:

«...Если даже и установлен факт, что гальванический ток может быть произведен механическим путем посредством магнитного электричества, то вопрос о том, будет ли такое производство тока целесообразным и экономичным, требует еще тщательного рассмотрения».

В 1846 г. в серии «Гальванических и электромагнитных исследований» Якоби была опубликована работа, специально посвященная электрогенераторам [Л. 20, стр. 112—126]. В ней описывался сконструированный им гене-

ратор. Этот генератор, приведенный на рис. 24, был в принципе подобен тем многочисленным моделям магнитоэлектрических генераторов, которые разрабатывали различные ученые и изобретатели в то время (Кларк, Пиксии, Штернер).

Удачнее, чем в других машинах, Якоби осуществил магнитную цепь генератора, ибо применение двух магнитов создавало более благоприятные условия для замыкания силовых линий. С этой машиной Якоби произвел ряд экспериментов. Он исследовал ее работу при последовательном и параллельном включении индукционных катушек, при введении в цепь ротора дополнительного сопротивления и т. п. Генератор был использован Б. С. Якоби не только для научных исследований.

Он нашел практическое применение в электроминных установках, заменив там гальванические элементы (см. гл. 4).

---

### *Глава третья*

## *Работы Б. С. Якоби в области электротелеграфии*

Начиная с древних времен люди стремились решить проблему быстрой и надежной связи на значительные расстояния. В качестве средств связи использовали сначала световые и звуковые сигналы, которые передавались от поста к посту. С конца XVIII в. вплоть до середины XIX в. широкое распространение получили «семафорные», или оптические, телеграфы, передававшие слова путем различных сочетаний рычагов, укрепляемых на специальных башнях. Здесь сигналы также шли от одной промежуточной станции к другой.

Когда стало широко известно свойство электричества распространяться с огромной скоростью, а магнитов — взаимодействовать друг с другом, у людей начало создаваться представление о возможности использования этих сил для передачи сигналов. Сведения об этом встречаются в сочинении Галилея, относящемся к 1627 г., в книге француза П. де-Ланкра, изданной в 1622 г. в Париже под названием «Полное раскрытие непонятного и невероятного в области колдовства», в книге Швентера «*Dilicale Physico-Mathematical*», 1636 г. и в других источниках. Но знания об электрических и магнитных явлениях были в то время слишком малы для того, чтобы можно было предполагать какое-либо практическое осуществление выдвигавшихся проектов.

К концу XVIII в. бурное развитие промышленности, торговли и мореплавания еще более усилило потребность в быстрой связи. Стали появляться уже реальные конструкции электрического телеграфа. Они строились на основе знаний в области статического электричества. Различные источники говорят об электростатических телеграфах Ламонда, Лесажа, Сальвы, Кавалло и других изобретателей. Действие этих телеграфов основывалось на ис-

пользовании притяжения и отталкивания наэлекризованных тел, на свойстве статического электричества давать искру и т. д. Подобные телеграфы были громоздки (для каждой буквы требовался отдельный провод), дороги, не имели постоянного источника питания и, что самое главное, не могли передавать заряд на большое расстояние.

Открытие гальванического электричества, создание постоянного источника тока (вольтов столб) и последующие исследования электрического тока, в частности, обнаружение химических действий тока, открыли новую возможность для построения электрического телеграфа.

В 1809 г. немецкий врач С. Земмеринг предложил первый телеграф, использовавший электролитическое разложение воды. Изобретение Земмеринга распространения не получило из-за сложности устройства и невозможности хорошо изолировать проводники.

Таким образом, ко времени открытия датским ученым Эрстедом явления взаимодействия тока и магнита были сделаны отдельные попытки применить электричество для передачи сигналов. Но использование статического электричества и химического действия электрического тока не могло обеспечить создания практически удобного телеграфа, необходимость которого остро ощущалась. Поэтому неудивительно, что уже через три месяца после опубликования описания опыта Эрстеда была высказана идея о создании электромагнитного телеграфа. Она принадлежала А. М. Амперу. В докладе Парижской академии наук в октябре 1820 г. Ампер изложил принципы электромагнитного телеграфа, а также в общих чертах описал устройство аппарата, с помощью которого он предлагал осуществить свой проект. Он писал: «*Если взять столько проволоки, сколько букв в алфавите* (курсив мой — М. Б.), то можно устроить телеграф, который передавал бы, что нужно, буква за буквой вдали находящемуся человеку, которому поручено наблюдение за написанными на стрелках буквами. Для этого нужно противоположные концы проволоки сообщать поочередно с обоими полюсами вольтова столба. Если бы над вольтовым столбом поместить клавиатуру с написанными на клавишах теми же буквами так, чтобы при нажатии клавишей они соединяли полюсы с проводниками, то обмен мыслями мог бы совершаться довольно легко» [Л. 29].

Однако до 1824 г. за практическое осуществление этой мысли Ампера ни сам ее автор, ни кто-либо другой не



П. Л. Шиллинг

брался, причиной чему была новизна и неизученность электромагнитных взаимодействий.

По мере того, как углублялись исследования в области электромагнетизма (изобретение мультиплексора, открытие электромагнитного вращения, установление закона действия тока на магнитную стрелку и т. п. — см. табл. 1), создавались более благоприятные условия для реализации идей Ампера.

В 1824 г. английский профессор Барлоу сделал попытку построить электромагнитный телеграф. Однако после многих экспериментов он не только не создал практически пригодного телеграфа (аппарата и линейного устройства), но, как он считал, доказал неосуществимость электромагнитного телеграфа Ампера. Свое сообщение о ходе и результатах опыта Барлоу заключил следующими словами:

«Польза и осуществимость приведенного выше предложения (предложения Ампера — М. Б.) не может подлежать никакому сомнению. Это побудило меня произвести опыт, но я нашел настолько значительное ослабление действия на протяжении всех 200 футов проволоки, что *вполне убедился в неосуществимости проекта*» (курсив мой — М. Б.) [Л. 29]. Этот факт ярко показывает, как далеко было от идеи устройства электромагнитного телеграфа до

ее практического осуществления. Не удалось построить электромагнитный телеграф и ряду других ученых (В. Риччи, Дж. Генри).

В этой обстановке особенно отчетливо и ярко обозна-  
чается выдающаяся роль русского ученого П. Л. Шиллинга, которому впервые удалось создать практически пригодную конструкцию электромагнитного телеграфа. С идеей электрического телеграфа Шиллинг познакомился еще в 1810 г., присутствуя на опытах С. Земмеринга. Как свидетельствуют исследователи творчества Шиллинга [Л. 122], он еще тогда весьма заинтересовался возможностью использовать электричество для передачи сигналов. Работы Шиллинга по электрическому взрыванию подводных мин указывают на то, что ученый серьезно заинтересовался практическим использованием электричества.

В течение двадцати лет, прошедших со времени перво-  
го знакомства Шиллинга с телеграфом Земмеринга, он имел все возможности продумать, а также критически изу-  
чить опыт своих предшественников, в том числе и тех, кто после открытия Эрстеда занимался разработкой электро-  
магнитного телеграфа. Указанные обстоятельства и неза-  
урядный талант изобретателя позволили Шиллингу создать к 1828 г. первый практически пригодный телеграф. Действие аппарата Шиллинга основывалось на отклонении стрелки мультиплексора протекающим через обмотку то-  
ком. Благодаря тому, что изобретателем для передачи сиг-  
налов были использованы два направления тока, приме-  
нен один общий обратный провод, разработан весьма про-  
стой и удобный код, его телеграф мог найти практическое применение. Телеграф Шиллинга был установлен для внутренней связи в Зимнем дворце в Петербурге. Успешные опыты телеграфирования аппаратами Шиллинга, а также высокая оценка его работ иностранными учеными на съезде естествоиспытателей в Бонне (1835 г.) способство-  
вали тому, что в мае 1837 г. последовал приказ Николая I об устройстве телеграфа между Петергофом и Кронштад-  
том протяженностью около 15 км. В связи с этим изобретателем были проведены обширные опыты телеграфирова-  
ния по специально проложенной вокруг здания Адмирал-  
тейства линии длиной около 1 км. П. Л. Шиллинг был также автором предложения об использовании воздушного подвеса проводников. Однако осуществить линию Петергоф — Кронштадт не удалось, так как в июле 1837 г. Шиллинг умер.

Правящие круги, от которых зависело введение в России электромагнитного телеграфа Шиллинга, с величайшим равнодушием отнеслись к судьбе этого русского изобретения и ничего не сделали для его претворения в жизнь. Более того, известен вопиющий факт пренебрежительного отношения к изобретению Шиллинга. В 1837 г. петербургским банкиром Штиглицом было получено из Лондона сообщение об «изобретении» Куком электромагнитного телеграфа. Через военного министра Чернышева это сообщение дошло до министра путей сообщения Клейнмихеля, по распоряжению которого от лондонского «изобретателя» были затребованы описание и чертежи телеграфа. Переписка длилась около двух лет и фактически касалась предложения об устройстве в России англичанином Куком якобы им изобретенного телеграфа. В действительности же телеграф Кука почти ничем не отличался от телеграфа П. Л. Шиллинга, демонстрировавшегося в Бонне [Л. 122].

Телеграфные работы П. Л. Шиллинга были хорошо известны Б. С. Якоби; равным образом П. Л. Шиллинг хорошо знал о трудах Якоби по электромагнетизму, о чем уже говорилось выше.

Имеются документы [Л. 2, 3, 96], из которых явствует, что Якоби в свою очередь не только был подробно знаком с работами П. Л. Шиллинга, но и принимал в них участие. Обоих ученых объединяли глубокий интерес к электромагнитным явлениям и стремление поставить их на службу России.

П. Л. Шиллинг делился с Б. С. Якоби своими творческими планами, знакомил с возникавшими у него идеями по дальнейшему совершенствованию своего изобретения. В докладе Академии наук в декабре 1843 г. Якоби приводит интересный факт, что «Шиллинг в последнее время, когда его умственная деятельность, казалось, была усиленнаю, часто был полон остроумных идей, помышляя о таком снаряде (пишущем телеграфном аппарате — М. Б.), но не мог только устранить крайнюю сложность механизма» [Л. 106].

Шиллинг имел обмен мнениями с Якоби по поводу предполагавшейся постройки электрического телеграфа Петергоф — Кронштадт. У Якоби уже в то время возникло желание работать над проектом устройства этой телеграфной линии. Среди общего недоверия и скептицизма Б. С. Якоби сразу же оценил предложенный П. Л. Шил-

лингом способ воздушного подвеса проводников и, вопреки мнению различных высокопоставленных лиц, советовал Шиллингу настаивать на воплощении его идеи в жизнь.

Сохранилось письмо Б. С. Якоби к П. Л. Шиллингу от 21 июля 1837 г. из Дерпта, в котором Якоби писал:

«Прилагая Вашему Превосходительству обещанный план устройства телеграфной линии, я коснулся бы некоторых пунктов более подробно, если бы не множество дел, которые поглотили все мое время. Я должен признаться Вам открыто, что трудность устройства линии от Оранien-баума до Кронштадта мне представляется как бы непобедимой, и я на Вашем месте старался бы дать делу такой оборот, чтобы устроить лишь одни воздушные линии... что же касается действительного выполнения, то будьте, Ваше Превосходительство, уверены, что я при моем возвращении в Петербург готов насколько в моих силах в этом помочь Вам»<sup>1</sup> [Л. 96].

После смерти Шиллинга Якоби продолжал упорно в течение многих лет выступать за строительство в России воздушных линий. В феврале 1844 г. он официально, в запечатанном конверте, передал Академии наук свое мнение о возможности и целесообразности использования воздушного подвеса голых проводников при устройстве телеграфных линий. Однако все это было оставлено без внимания.

«Между тем, — писал Якоби в 1857 г., — за границей уже начали строить воздушные провода, как предлагал барон Шиллинг. Я тщетно старался получить возможность сделать хотя бы опыт устройства такого телеграфа, но к сожалению, я постоянно встречал препятствия в этом деле» [Л. 106].

Изученные материалы показывают, что двух ученых связывала не только общность интересов в области электромагнетизма, но и выросшая на этой почве личная симпатия.

Цитированное выше письмо Якоби было написано за четыре дня до смерти П. Л. Шиллинга. Якоби было известно о плохом состоянии здоровья П. Л. Шиллинга, и он, с беспокойством справляясь о самочувствии Шиллинга, заканчивает письмо следующими словами:

«Я убедительно прошу Вас хотя бы несколькими строками известить меня о состоянии Вашего здоровья, ибо я, должен Вам откровенно признаться, чрезвычайно полюбил

<sup>1</sup> Перевод выполнен сотрудниками Центрального музея связи имени А. С. Попова.

Вас и можно только сожалеть, что не имел счастья с Вами познакомиться ранее. Прошу кланяться моей машине<sup>1</sup> и извинить, что уже кончу». П. Л. Шиллинг умер 25 июля 1837 г., и Якоби не суждено было больше с ним встретиться.

Сложные условия, в которых протекала деятельность П. Л. Шиллинга, произвели на Якоби тяжелое впечатление; позднее ему самому пришлось столкнуться с подобными трудностями. В докладе Академии наук, спустя двадцать лет после смерти П. Л. Шиллинга, Якоби вспоминал:

«После смерти Шиллинга запуганный как материальными трудностями, которые, как мне казалось, должны были представлять сооружения электротелеграфических линий, равно как и нравственными неудачами и препятствиями, которые приходилось переносить этому гениальному человеку, я осторожно воздерживался от принятия на себя какого-либо почина в этом деле, хотя и был уже достаточно подготовлен к этому моими прежними опытами и работами. Я следил тогда за *незначительным, правда, прогрессом в телеграфии для того только, чтобы предъявить право на первенство моего покойного друга* (курсив мой — М. Б.) [Л. 106].

Уже в начале 1838 г. Якоби пришлось выступить против несправедливого замалчивания работ Шиллинга. Поводом послужила статья об электромагнитном телеграфе Штейнгеля, напечатанная в приложении к немецкой газете «Allgemeine Zeitung», № 47 и 48 от 17 и 18 февраля 1838 г. Статья начиналась историческим обзором работ в области электротелеграфии. В этом обзоре полностью игнорировалось изобретение П. Л. Шиллинга. Якоби, возмущенный этим фактом, тотчас же написал статью, в которой напоминал недобросовестным историкам о действительном положении дел. Статья Якоби была помещена в газете «Австрийский наблюдатель» № 96 от 6 апреля 1838 г. под заглавием «Электромагнитные телеграфы». В ней Якоби писал что «...многочисленные друзья, к сожалению, столь рано скончавшегося Шиллинга фон Канштадт с прискорбием отмечают пропуск его имени... (в упомянутой статье газеты «Allgemeine Zeitung» — М. Б.). Между тем как увенчавшиеся отличным успехом труды этого «богатого знаниями друга естественных наук», как характе-

<sup>1</sup> Речь идет об электродвигателе Якоби, который он привез в Петербург для доклада «Комиссии о приложении электромагнетизма к движению судов по способу профессора Якоби».

ризовал его Гаусс..., хорошо известны в Германии, в особенности в Вене и Берлине. К тому же на съезде естествоиспытателей в Бонне в 1835 г. он показывал модель своего в высшей степени остроумного устройства электромагнитного телеграфа. Существенные данные свидетельствуют о том, что бывшие в то время там английские ученые отнеслись с особым вниманием к его изобретению и преисправно им воспользовались» [Л. 4].

Впоследствии Якоби неоднократно при различных случаях подчеркивал заслуги Шиллинга в развитии электротелеграфии, обращая внимание на новаторский характер его деятельности.

### *Создание телеграфных аппаратов*

Начало работы Б. С. Якоби в области электротелеграфии относится к 1841 г., когда ему было поручено устройство телеграфа между Зимним дворцом и Инспекторским департаментом Главного штаба. Ни в архивных, ни в литературных источниках до сих пор не найдено подтверждения сведений отдельных авторов [Л. 46, 61], которые указывают на 1839 г., как на дату строительства первой в России телеграфной линии Зимний дворец—Главный штаб. Мы называем 1841 г. годом начала работ Якоби по телеграфии на основании указаний самого ученого, которые встречаются в его работах неоднократно. Так, например, в докладе Академии наук в декабре 1843 г. Якоби прямо говорит: «Осенью 1841 г. мне было повелено привести электрический телеграф между Зимним дворцом и Главным штабом» [Л. 98].

К 1841 г., кроме телеграфного аппарата П. Л. Шиллинга, были известны более поздние конструкции различных авторов — Гаусса и Вебера (1833 г.), Штейнгеля (1836 г.), Кука и Уитстона (конструкция, заимствованная у П. Л. Шиллинга, 1837 г.), Кайданова (1840 г.), Александера (начало 1840-х годов). Действие всех этих аппаратов основывалось на использовании мультиплексора в качестве активного элемента приемника. Первый практически пригодный электромагнитный телеграф Шиллинга был несомненным и решающим шагом вперед. Относительно последующих конструкций можно сказать, что это были различные варианты телеграфа с мультиплексором, являвшиеся в некоторых случаях (в особенности в аппарате Гаус-

са и Вебера) усложнением в сравнении с устройством, предложенным Шиллингом. Общим недостатком этих телеграфных аппаратов была громоздкость манипуляций при телеграфировании (наличие нескольких мультиплексоров с указателями), недостаточная четкость обозначения сигнала (колебание стрелки), а также многопроводность линейного устройства (телеграф Шиллинга, лучший из всех современных ему, имел восемь проводов). Эти недостатки весьма отчетливо представлял себе Б. С. Якоби, приступая к разработке телеграфных аппаратов. Усиленно занимаясь в конце 1830-х годов исследованием электромагнитов, он пришел к мысли об использовании электромагнитов в конструкции телеграфных аппаратов. Переход от мультиплексоров к электромагнитам в телеграфных аппаратах знаменовал новый этап в электротелеграфии, который сыграл исключительно большую роль в дальнейшем развитии телеграфной связи. Б. С. Якоби знал, что в Америке С. Морзе также использовал электромагнит в своем телеграфном аппарате, но с устройством этого аппарата Якоби знаком не был, ибо в то время аппарат Морзе находился еще в стадии разработки<sup>1</sup>, и описание его конструкции в печати не появлялось.

Уже в первом телеграфном аппарате Б. С. Якоби основным действующим звеном был электромагнит.

Стремясь к осуществлению возможно большей точности передачи, Якоби останавливается на варианте пишущего телеграфа, ибо только при независимом от восприятия человека фиксировании сигналов можно было быть уверенным в правильности передачи депеш.

Кроме этого, он считал важным для хорошей работы установки наличие простого передатчика, незамысловатого кода, а также возможность принимать сигналы одновременно на слух и записью. Эти требования Якоби стремился воплотить в созданных им конструкциях аппаратов.

Б. С. Якоби в общей сложности было разработано более 10 моделей аппаратов, которые он создал, в основном, в течение десяти лет — с 1840 по 1850 г.

Описание конструкций и принципа действия этих телеграфных аппаратов, принадлежащее перу самого изобретателя,

<sup>1</sup> Патент на свой аппарат Морзе получил 20 июня 1840 г., а первое практическое использование аппарата состоялось в 1844 г. на линии Вашингтон—Балтимора.

Таблица 5

№ п/п.	Тип телеграфного аппарата	Год со- зданья (при- мерно)	Где применялись
1	Пищий аппарат	*	Линия Зимний дворец — Главный штаб Линия Петербург — Царское Село
2	Стрелочные синхронные аппараты (горизонтальный, вертикальный, с клавиатурой)	1843— 1846	Линия Петербург — Царское Село Линия Зимний дворец — Главное управление путей сообщения
3	Физиологический телеграф	1843	При проведении опытов над проводимостью воды у Петровского острова на Неве
4	Военный телеграф	1845	В сухопутных войсках
5	Звонковой аппарат	1845	
6	Буквопечатающий аппарат (две модели)	1850	
7	Электрохимический аппарат	1840 и 1851	Применялся Якоби в опытных установках
8	Акустический („шепчущий“) аппарат		Применялся Якоби при проведении различных научных работ
9	Корабельный телеграф	1854	Паровой фрегат „Полкан“

\* Дата создания пищущего аппарата Якоби в настоящее время документально точно не установлена.

тателя, до сих пор встретить не удалось<sup>1</sup>. В Центральном музее связи имени А. С. Попова в Ленинграде сохранились многие подлинные телеграфные аппараты Якоби. По этим моделям впоследствии различными авторами и были составлены их описания. Наиболее полный и серьезный научный анализ конструкций телеграфных аппаратов Якоби был сделан профессором Д. С. Пашенцевым в 1949 г. [Л. 58]. Отсылая читателя к этой интересной работе, мы остановимся только на отдельных моментах, дополняющих и разъясняющих уже известное.

Основными из всех аппаратов, созданных Якоби как по техническому совершенству, так и по практической значимости должны быть названы буквопечатающий и стрелочные синхронные, а также пищий. Остальные аппа-

<sup>1</sup> Якоби подробно, с чертежами и пояснениями, был описан только корабельный телеграф. В докладе Академии наук 1843 г. [Л. 98] изобретатель очень кратко сообщил о принципе действия пишущего и стрелочного аппаратов.

раты (исключая корабельный и военный<sup>1</sup> как специально-го назначения) следует рассматривать как свидетельство глубокого изучения проблемы электротелеграфии, как ре-зультат серьезной и упорной работы над созданием прак-тически удобного телеграфного аппарата. Удовлетвори-тельный при пользовании был уже первый, пишущий теле-графный аппарат Якоби. Он в течение нескольких лет обслуживал линии Зимний дворец — Главный штаб, Петер-бург — Царское Село. Но этот аппарат имел недостатки, главным из которых была трудность расшифровки зигза-гообразной записи принятой депеши. Поэтому Якоби обратился к исследованию возможности использования для це-лей связи различных свойств электрического тока. Во всех случаях ему удалось осуществить весьма оригинальные конструкции, значительно превосходившие ранее создан-ные. Например, физиологический телеграф у его изобрета-теля Форсельманна де Геер (1839 г.) состоял из клавиату-ры и десяти двойных проводников. Якоби упростил аппа-рат и свел его линейную часть к двум проводникам.

Электрохимический аппарат Земмеринга имел чрезвы-чайно громоздкий приемник и сначала 27, а после усовер-шенствования 10 проводников. Идею использования элек-трохимического действия тока Б. С. Якоби воплотил в изящную конструкцию<sup>2</sup> привлекшую внимание Вернера Сименса, в руках которого находились все телеграфные линии Германии. В 1852 г. Сименс писал Якоби: «Госпо-дин статский советник! Не будете ли вы так добры пока-зать мне ваш новый электрохимический телеграф. Я нахо-жу в нем, что 1) Ваш метод окрашивать полоски бумаги посредством жидкости — очень полезен, 2) Ваш элек-тroliz или ток, который Вы пропускаете через цепь, дает раз-ные соотношения. Я гарантирую Вам мою полную конфи-денциальность всего того, что Вы мне покажете и объясни-те» [Л. 96].

Акустический и звонковой телеграфы Якоби отражали попытку использовать звуковой сигнал для приема де-пеши. Возможно, что первый из этих телеграфов был предшественником телефона. К сожалению, конструкция его неизвестна. Эти аппараты так же, как и физиологиче-ский и электрохимический, Якоби неоднократно употреб-

<sup>1</sup> Конструкция военного телеграфа до сих пор не выяснена.

<sup>2</sup> Описание электрохимического аппарата Якоби смотри [Л. 30 и Л. 57].

лял для связи во время проведения научных исследований по электроминному делу.

Экспериментирование с физиологическими, акустическими, электрохимическими телеграфными аппаратами показало их неприменимость для широких целей практики и укрепило Б. С. Якоби в мысли, что будущее электротелеграфии связано с использованием электромагнитных явлений. В этом направлении он и повел свои работы.

После пишущего телеграфа Б. С. Якоби создал несколько конструкций электромагнитных стрелочных синхронных аппаратов и буквопечатающий аппарат. Суммируя все сведения, имеющиеся относительно стрелочных аппаратов, можно сказать, что 1) все они были построены на одном принципе действия<sup>1</sup>; 2) конструктивно отличались друг от друга манипуляторным устройством — либо штепсель, либо клавиатура, расположением циферблата — вертикально или горизонтально; устройством токопрерывателя — в первых конструкциях более сложный, в последующих — упрощенный; приводом — в последних моделях стрелочных аппаратов имел место не механический (гиревой или часовой), а автоматический электромеханический привод.

Выдающимся достижением Якоби в конструировании телеграфных аппаратов была разработка принципа вынужденного синхронизма. Все стрелочные аппараты Якоби (на рис. 25, а дан эскиз вертикального стрелочного аппарата с гиревым приводом) в качестве указателя имели циферблат с нанесенными на нем буквами и цифрами и стрелку. При переводе рычажного переключателя 1 (рис. 25, а) в положение «передача» оказывалась замкнутой цепь передающей и приемной станции (рис. 25, б), в результате чего по обоим циферблатам с одинаковой скоростью (синхронно) и с одинаковым пространственным положением (синфазно) начинали двигаться стрелки, переходя с одного знака на другой. Синфазность обеспечивалась тем, что перед началом работы с помощью специального приспособления простым нажатием кнопки стрелки устанавливались на установленном знаке.

<sup>1</sup> Принцип их действия Якоби сформулировал в следующих словах: «Действием перемежающегося намагничивания электромагнитной подковы и притяжением его якоря... колесо, к оси которого приделан циферблат, подвигается каждый раз на один зубец вперед, вследствие чего имеющиеся на циферблете буквы и цифры могли постепенно появляться перед глазами и быть отмечены соответственно последовавшим на этот счет известным соглашением» [Л. 98].

Синхронность действия аппарата достигалась блестящим по своей продуманности и техническому осуществлению способом. Все устройство у Якоби было разработано таким образом, что ток в линии мог протекать только тогда, когда в обоих аппаратах (рис. 25, б) будут замкнуты контакты  $K$  (соответствуют контактному диску 2 на передающем и приемном аппарате рис. 25, а). В результате

этого ни один из аппаратов не мог начинать свое шаговое движение без другого, ибо в этом случае цепь оставалась разомкнутой. Шаговое движение могло происходить только при одновременном замыкании контактов, благодаря чему и обеспечивалось строго синхронное движение стрелок аппаратов. Выпадение из синхронизма одного из аппаратов немедленно приводило к размыканию цепи и остановке второго аппарата.

Для передачи знака на циферблате аппарата передающей станции в одно из отверстий, расположенных над каждой буквой, вставлялся стерженек. Стерженек затормаживал движение стрелки.

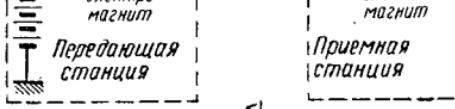


Рис. 25. Схема вертикального стрелочного телеграфного аппарата Б. С. Якоби.

Это случалось тогда, когда цепь электромагнита передающего аппарата бывала замкнута через контакт 2. Так как передающий аппарат переставал разрывать цепь и создавал возможность прохождения в цепи не пульсирующего, а постоянного тока, то в замкнутом положении оставался и контактный диск приемного устройства, что приводило к остановке шагового движения приемного аппарата, и стрелка задерживалась на передаваемом знаке.

Принцип синхронно-синфазной связи был применен Б. С. Якоби и в буквопечатающем аппарате. К 1850 г., когда буквопечатающий телеграфный аппарат был изготовлен

лен в окончательном виде, в Европе самыми распространенными были аппараты Кука и Уитстона (усовершенствованный аппарат Шиллинга) и Сименса (стрелочный аппарат Якоби). В Америке эксплуатировался пишущий аппарат Морзе, в котором на ленте отпечатывались точки и тире, т. е. знаки азбуки Морзе.

Буквопечатающий аппарат Якоби следует рассматривать не только как вершину творчества изобретателя в области создания телеграфных аппаратов, не только как первый в мире буквопечатающий аппарат, но и как крупное достижение электротехники того времени.

На рис. 26 приведена электрическая схема буквопечатающего аппарата Якоби<sup>1</sup>. Передатчиком служил стерженек, останавливающий движение стрелки по циферблatu. Приемник имел принципиально такое же устройство, как приемник стрелочных аппаратов, но был значительно упрощен за счет введения электромеханического привода указателя<sup>2</sup> и автоматического токопрерывателя и включал в себя дополнительное звено — буквопечатающее приспособление.

Электромеханический привод указателя аппарата, а также типового колеса<sup>3</sup> печатающего устройства, сидящих на одной оси, осуществлялся следующим образом. При притяжении якоря 2 к движущему электромагниту 1 срабатывал на размыкание токопрерывающий контакт 7, механически связанный с якорем. Тем самым разрывалась главная электрическая цепь и обесточивался электромагнит. Под действием пружины якорь 2 отходил от электромагнита, при этом якорь проворачивал указатель и типовое колесо и вновь автоматически замыкал токопрерыватель 7 и т. д., т. е. совершалось шаговое движение.

Синхронность и синфазность действия достигались таким же образом, как и в стрелочных аппаратах. Полностью автоматизирована была работа буквопечатающего приспособления. Это обеспечивалось действием двух узлов аппарата — A и B (рис. 26). Буквопечатающее приспособление имело следующее устройство: на якоре электромагнита 3 был закреплен массивный медный рычаг 4,

<sup>1</sup> Схема заимствована из материалов Центрального музея связи имени А. С. Попова.

<sup>2</sup> Как мы выше сказали, электромеханический привод был осуществлен и в некоторых моделях стрелочного аппарата.

<sup>3</sup> Типовым колесом называется колесо, на котором располагаются типографские знаки.

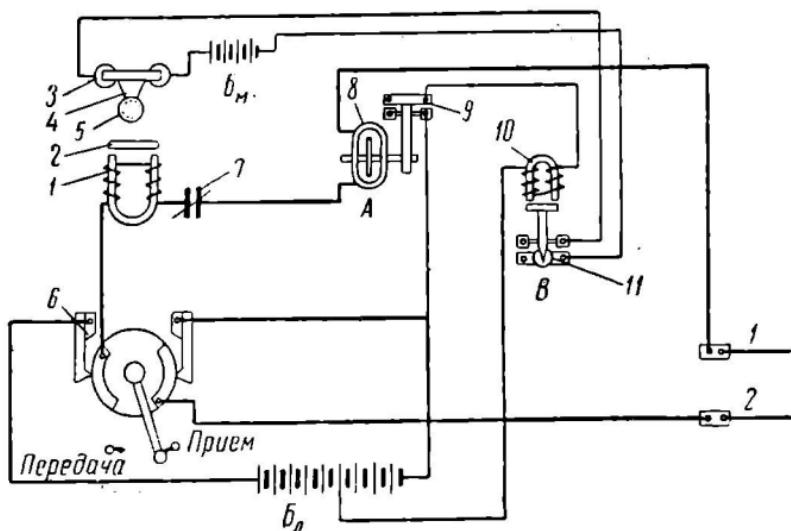
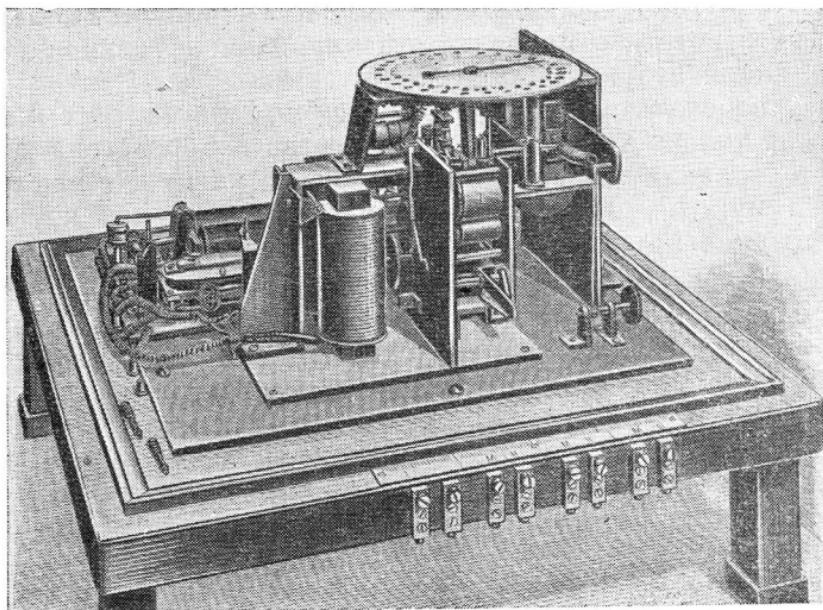


Рис. 26 Буквопечатающий телеграфный аппарат  
Б. С. Якоби.

*a* — общий вид; *b* — электрическая схема.

конец которого располагался над типовым колесом 5. С якорным рычагом был соединен механически лентопротяжный механизм, передвигавший ленту при обратном ходе якоря магнита, включенного в цепь печатающей установки. Печатающее (типовое) колесо имело по окружности 28 отверстий, в которые были вставлены 28 деревянных типовых стерженьков. На нижней торцовой части последних были вырезаны 26 букв алфавита и два служебных знака. Типовые стерженьки были снабжены противодействующими пружинами. При срабатывании печатающего электромагнита медный рычаг ударял по находящемуся под ним типовому стерженьку. Преодолевая сопротивление пружины, стерженек выдвигался из своего гнезда вперед, и на ленте отпечатывался соответствующий знак. Однако все было предусмотрено таким образом, что при шаговом движении типового колеса печатающее устройство оставалось в покое и начинало действовать только после того, как на передающей станции начинали передачу.

Электрическая цепь печатающего приспособления на рис. 26 показана тонкими линиями. При обтекании током мультиплексора 8, что имело место при замкнутом контакте 7, происходил поворот стрелки, благодаря чему замыкался контакт 9. При срабатывании контакта 9 включалась цепь контактного реле 10. Реле было так отрегулировано, что оно не реагировало, пока в цепи протекал пульсирующий ток, т. е. пока происходило шаговое движение аппарата. Когда начиналась передача и стерженек на передающей станции останавливал движение стрелки, на приемной станции вследствие вынужденного синхронизма в работе аппаратов немедленно останавливалось движение указателя и типового колеса. Электрическая цепь при этом оставалась замкнутой. Значение тока возрастало (в цепи протекал постоянный ток). Величина его делалась достаточной, чтобы замкнуть контакт 11 реле 10. Благодаря этому оказывалась замкнутой и цепь печатающего приспособления, которая питалась от собственной батареи  $B_m$ , и на ленте отпечатывался знак. Подобный процесс имел место на обеих станциях. После окончания передачи знака стерженек вынимался из гнезда на циферблате, и шаговое движение автоматически возобновлялось.

Так работал первый в мире буквопечатающий телеграфный аппарат.

Как видно из описания, действие всех узлов аппарата было полностью автоматизировано: автоматически проис-

ходили все внутренние переключения электрических цепей, передвижение ленты, печатание знаков.

Схема включения буквопечатающего приспособления через реле, примененная Якоби, сохранилась в телеграфных аппаратах и по сей день. Реле, сконструированное ученым для буквопечатающего аппарата, имело все черты современного реле — электромагнитную и контактную часть.

В буквопечатающем телеграфе Якоби был употреблен электромеханический привод, в то время как в аппарате Юза, построенном пять лет спустя и получившем широкое распространение, был гиревой привод, как в первых стрелочных аппаратах Якоби. Принцип синхронно-синфазного движения, использованный Б. С. Якоби, был положен в основу всех последующих конструкций телеграфных аппаратов Юза, Сименса, Бодо и является основным в современных буквопечатающих аппаратах. Построение узлов аппарата Якоби с точки зрения их продуманности и технической целесообразности, автоматизации рабочих процессов, происходящих в аппарате, совмещение электромагнитных и механических устройств — все это было ново для электротехники того времени и дает основание утверждать, что буквопечатающий аппарат Якоби представлял выдающееся достижение не только телеграфии, но и электротехники в целом. К сожалению, современники не узнали об этом изобретении русского ученого, ибо подробное описание конструкции буквопечатающего аппарата Якоби появилось в печати впервые только в наши дни, т. е. спустя сто лет со дня его изобретения. Как мы уже отмечали, весьма долгое время не были опубликованы и материалы о других телеграфных аппаратах Якоби. Причина этого лежит в следующем.

Строительство телеграфов в России началось не потому, что этого требовали задачи экономического развития страны. Телеграфы были задуманы как средство секретных сношений царя с приближенными, а также для использования в военных целях. Поэтому работы Якоби по телеграфии не только не пропагандировались и не развивались, но, наоборот, их распространению и опубликованию решительно препятствовали.

В начале 1844 г. Б. С. Якоби обратился через физико-математическое отделение Академии наук к Николаю I с просьбой разрешить обнародовать подробное описание изобретенных им телеграфных аппаратов и различных

электротехнических устройств к ним. По рекомендации Клейнмихеля царь запретил печатать что-либо о телеграфах Якоби [Л. 84, листы 1—4].

К каким последствиям привел этот приказ Николая I, можно заключить на основании известных фактов. Синхронный стрелочный аппарат был заимствован у Якоби В. Сименсом и вошел в практику под его именем. Буквопечатающий аппарат Якоби так и не увидел света. Посетив Пруссию в 1851 г и ознакомившись там с телеграфным аппаратом Морзе, Якоби писал, что «...так называемый телеграф Морзе... дает аналогичную запись сигналов, но менее отчетливую, чем та, которая получается в одном из телеграфов, который я устроил в России десять лет тому назад» [Л. 99].

Во время той же поездки по Европе Якоби должен был с горечью констатировать: «Что касается аппаратов, то я получил спокойное удовлетворение (если оно вообще было), узнав, что та же самая система, которую я впервые ввел, принята в настоящее время в Америке и в большинстве стран Европы. Здесь не стоит перечислять большое число трудностей, с которыми мне пришлось бороться. Действительно, ни одному из тех, кто где бы то ни было занимался с успехом этими делами, не пришлось перенести столько неприятностей. Что касается того, как я выполнил поручение, то мне придется сослаться на свидетельство документов, которые я буду иметь возможность огласить, но еще более на такие документы, которые не разрешено использовать для этого. Среди этих последних я отмечаю значительное число выполненных мною телеграфов, основанных на совершенно новых идеях, которые позже обогатили других людей, получили всемирную известность и широкое применение» (курсив мой — М. Б.) [Л. 99].

В 1858 г. по вторичной просьбе Якоби ему было разрешено опубликовать описание изобретенных им аппаратов [Л. 84, лист 8]. Однако этим правом Якоби так и не воспользовался, понимая, что за 10—15 лет, прошедших со времени создания им аппаратов, техника ушла вперед.

Выше мы писали, что большую научную и техническую ценность имели не только телеграфные аппараты Якоби в целом, но и отдельные их узлы, детали устройства, которые позже легли в основу конструкции телеграфных аппаратов, имеющих распространение и по сей день. Это — синхронно-синфазное движение, реле, автоматичность срабатывания различных узлов, включение буквопечатающего

приспособления и т. д. Горько сознавать, что эти изобретения русского ученого были скрыты от мира и в то же время не использованы в должной мере в России. Нет сомнения, что если бы Б. С. Якоби пришлось работать не для узких целей, а открыто, для прогрессивных потребностей общества, то он мог бы достигнуть значительно больших результатов. В этом случае его начинания могла быть оказана активная поддержка и к работам привлечено внимание, а его замечательные идеи и изобретения подхватывались бы и развивались, ибо капитализм нуждался в быстрых средствах сообщения.

### *Строительство линий электромагнитного телеграфа*

Работы Якоби в области электротелеграфии не ограничились изобретением различных типов телеграфных аппаратов. Он выступил новатором и в области сооружения подземных телеграфных линий.

До 1844—1845 гг. за границей нигде, за исключением Англии, не было осуществлено ни одной, даже опытной кабельной телеграфной линии значительного протяжения (табл. 6). Линии телеграфа Гаусса и Вебера (1833 г.) и Штейнгеля (1836 г.) были воздушными, первая длиной в  $1\frac{1}{2}$  км, вторая — около 13 км. В Англии в 1837 г. Кук и Уитстон, составившие компанию по эксплуатации телеграфа, проложили линию вдоль Бирмингамской ж. д. Линия была кабельной — изолированные медные жилы проходили через чугунные трубы. Как отмечал Якоби, конструкция этой линии была весьма нерациональна — ненадежна в работе и дорога. Позже Кук и Уитстон отказались от подобного устройства.

В России П. Л. Шиллинг построил в 1836 г. кабельную линию длиной около 1 км. Но те исследования, которые были проведены на ней и которые, по оценке Якоби, «бесспорно... были более значительные и разработанные», все же не позволяли еще сделать каких-либо определенных рекомендаций и выводов относительно устройства длинных телеграфных линий в реальных эксплуатационных условиях.

Таким образом, Якоби имел все основания писать, что «...в начале возникновения электротелеграфии... вступление на этот путь таинственной области представляло очень много неудобств и затруднений. И в это именно время мне предстояло разрешить трудные задачи устройства телеграфа».

Таблица 6

## Первые линии электрического телеграфа

№ п/п.	Государство	Год строительства	Трасса линии	Протяженность (км)	Система прокладки	Используемые телеграфные аппараты
1	Англия	1841 до 1845 1845 1848	Пробная линия вдоль железной дороги Лондон—Слоу	28,6 70 800 Более 3 500	Сначала подземные проводники, позже воздушные	Аппараты системы Кука и Уитстона
2	Пруссия	Февраль 1849 Июль 1849 Май 1849	Берлин — Франкфурт-на-Майне Берлин — Аахен Берлин — Гамбург	670 700 280	Подземные, с гуттаперчевой изоляцией	Аппараты Сименса Аппараты Крамера, Морзе, Сименса Аппараты Сименса и Морзе
3	Бавария	К 1851			В основном воздушные провода (железные)	Аппарат Морзе, усовершенствованный Штерером
4	Австрия	Октябрь 1848 Апрель 1849	Гамбург — Куксгавен Штутгартен — Эслинген	148	Воздушные	Аппараты стрелочные Эклина

Продолжение табл. 6

№ п/п	Государство	Год строи- тельства	Трасса линии	Протяжен- ность (км)	Система прокладки	Используемые теле- графные аппараты
5	Франция	1845 1853	Опыты на линии Руан Все линии Франции	Около 1 100		Аппараты Бреге— стрелочные с азбу- кой оптического телефagrafa Шаппа
6	США	Май 1844 К 1850	Вашингтон—Балтимора Все линии США	63 17 тыс.	Сначала подзем- ные, затем воздушные Воздушные	Аппарат Морзе То же
7	Бельгия				Воздушные линии	
8	Россия	1843 1852 1854 1855 1855	Петербург—Царское Село Петербург—Москва Петербург—Варшава Москва—Киев, Киев— Одесса, Петербург—Ревель и т. д. Ковно—Прусская граница, Николаев—Перекоп—Се- вастополь	25 651 1 100	Подземные Подземные Воздушные "	Аппарат Якоби Аппарат Сименса То же " "

леграфа для личных надобностей царя. Кто из людей, знакомых с тогдашним положением телеграфии, мог бы дать и какой именно полезный совет? На какие предшествовавшие примеры можно было указать в то время?» [Л. 106]. И в другом месте [Л. 101]: «Что касается вообще помощи и средств извне, то нижеподписавшийся не мог на это расчитывать, потому что по новости электротелеграфного дела ему нельзя было ожидать действительной помощи и содействия от иностранных ученых. Таким образом, ему пришлось положиться на собственную деятельность и рассчитывать только на свои силы».

Выше мы говорили, что Якоби очень сочувственно отнесся к предложению Шиллинга о воздушном подвесе проводов, считая, что этот способ проводки снимает большинство трудностей изготовления и эксплуатации кабелей. Однако царь, рассматривавший электрический телеграф как средство для секретной связи, предпочитал иметь телеграфные линии, скрытые от глаз людей. Поэтому перед Якоби была поставлена задача создания подземных телеграфных линий. Они были осуществлены Якоби в течение 1841—1843 гг.:

1841 г.—линия Зимний дворец — Главный штаб протяженностью 363 м.

1842 г.—линия Зимний Дворец — Главное управление путей сообщения и публичных зданий — 2,7 км (9030 ф.).

1843 г.—линия Петербург — Царское Село — 25 км (23 версты 170 саж.).

Свою работу Якоби начинал, когда свойства изоляционных материалов были изучены весьма мало и не было кабеля удовлетворительной конструкции. Изобретатели первых телеграфов использовали провода, изолированные сургучом (Земмеринг), шелком, просмоленной пенькой и каучуком (Шиллинг). Эти кабели, достаточно надежные в условиях опытных установок, были непригодны для протяженных стационарных линий. Технология производства кабелей разработана не была. Отсутствовал опыт прокладки подземных линий, не было ряда необходимых измерительных инструментов, не была разработана методика контрольных и эксплуатационных измерений электрических характеристик проводников. В этом смысле интересно воспоминание Якоби о методе обнаружения дефектных мест в телеграфной установке Шиллинга в Адмиралтействе. Для отыскания места повреждения саперы проводили испытание целости изоляции «на язык», т. е. водили

языком по проводу. Когда язык касался нарушенной изоляции, электрическая цепь замыкалась через тело человека, который при этом чувствовал сотрясение [Л. 3, лист 122].

Без вполне определенных знаний по всем перечисленным вопросам разрешить проблему телеграфирования по подземным линиям было невозможно, поэтому Якоби впервые начинает научные исследования, связанные с конструированием, изготовлением и эксплуатацией подземных проводников. Эта сторона деятельности Якоби характеризует его как основоположника кабельного производства и первого исследователя линейных устройств.

Большую работу над проводниками электрического тока Якоби приходилось проводить в связи с осуществлением своих изобретений в области военной электротехники. Так как телеграфией и гальваническими минами ученый занимался одновременно, с начала 1840-х годов, то работы Якоби по конструированию и исследованию проводников питали эти обе области электротехники. Поэтому сказанное в этой главе относительно трудов Якоби по созданию электрических проводников относится в основном и к разделу, отражающему его работы по военной электротехнике.

Для действовавших, а также запроектированных телеграфных линий Якоби были предложены различные кабели, конструкции которых даны в табл. 7.

Каждая конструкция кабеля являлась результатом большой работы по подбору подходящих изоляционных материалов, пропиточных масс, защитных покровов, по совершенствованию технологии их изготовления и наложения.

Для жил кабелей Якоби употреблял отожженную медную проволоку диаметром 1,25—1,8 мм. На линии Петербург — Москва и Петербург — Петергоф он предполагал использовать полосовую медь. Из каких соображений был сделан этот шаг, сейчас сказать трудно. Во всяком случае имеющиеся материалы дают возможность заключить, что после проведенных опытов ученый установил независимость сопротивления проводников от формы их сечения.

Медная проволока, изготавляемая по заказам Якоби, не удовлетворяла тем требованиям, которые он к ней предъявлял. Диаметр проволоки значительно колебался в ту или другую сторону. «Редко получали бухту проволоки, конец которой не был бы толще, чем остальная часть», — сообщал Якоби в одном из своих докладов Академии наук в 1846 г. [Л. 107].

Таблица 7

## Телеграфные линии, разработанные Б. С. Якоби

	Линия	Год строительства	Жилы	Изоляция	Пропиточный состав	Защитная оболочка
1	Опытная линия на Адмиралтейской площади	1841	Две медные жилы круглого сечения	Мастика <sup>1</sup>		Железные гильзы
2	Зимний дворец <sup>2</sup> — Главный штаб	1841	То же	Два слоя нитяной обмотки, пропитанной мастикой	Смесь воска, смолы и сала	То же
3	Зимний дворец— Главное управление путей сообщения	1842	То же	Два слоя нитяной обмотки, пропитанной мастикой; стеклянные трубы	Смесь воска, смолы и сала	
4	Петербург—Царское Село	1843	То же	Обмотка каучуковыми лентами шириной в 12,5—18 мм в 2—3 слоя		

Продолжение табл. 7

	Линия	Год строительства	Жилы	Изоляция	Пропиточный состав	Защитная оболочка
5	Петербург—Москва (проект)	1844				
	а) 1-й вариант		Две медные полосы	Мастика <sup>1</sup>		Деревянные просмоленные желоба
	б) 2-й вариант <sup>2</sup>		Две медные жилы круглого сечения	Нитяная обмотка, пропитанная восковой мастикой		Деревянные просмоленные желоба (длина 6,4 м, ширина 63 мм, высота 76 мм), залитые составом из сала и гипса
	в) 3-й вариант		То же	Гуттаперча	—	—
6	Петербург—Петргоф (проект)	1846				
	а) первая половина линии		Медная полоса	Мастика <sup>1</sup>		Деревянные просмоленные желоба. Линия однопроводная. Второй проводник — вода.
	б) вторая половина линии		Медная проволока	Каучук		

<sup>1</sup> Прямых указаний на состав мастики этих линий встретить не удалось.<sup>2</sup> По данным [Л. 87].

Исходя из закона Ома, Б. С. Якоби понимал, что различие в диаметре проводника на протяжении его длины — это различие в сопротивлении участков проводника. В результате многочисленных опытов ученый сумел подметить, что колебание в диаметре жилы весьма отрицательно сказывается на качестве передачи. Конечно, в то время, делая первые шаги в изучении электрических линий, он не мог объяснить, почему это обстоятельство ухудшает качество передачи. Это было разъяснено позже в связи с изучением электромагнитных процессов в линии, а именно, взаимного влияния цепей. Но сам факт фиксирования внимания на вопросе омической асимметрии провода весьма знаменателен.

Механические качества проволоки, бывшей в распоряжении Якоби, также были не вполне удовлетворительны. При наложении изоляции, когда проволока претерпевала некоторое закручивание, бывали случаи обрыва жилы. Механические повреждения проволоки происходили и при транспортировке кабеля. Эти обстоятельства ученый спрашивали относил за счет плохой термической обработки металла. Якоби говорит о необходимости строгого соблюдения режима отжига кабельной проволоки в закрытом для доступа воздуха помещении для повышения ее механической прочности. Известно, что в настоящее время при изготовлении жил кабеля применяется мягкая медь, отожженная в специальных печах без доступа воздуха, чтобы избежать окисления. Отжиг улучшает механические характеристики металла, а также его электропроводность. Таким образом, Якоби сразу же были правильно поняты требования, предъявляемые практикой к электрическому проводнику, и учтены возможности металлургии.

Стремление получить механически прочный и гибкий проводник привело Якоби к совершенно верному решению об использовании вместо одной толстой проволоки нескольких свитых тонких, «так как они более гибкие и при поломке одной из них не происходит обрыв (линии), потому что тонкие проволоки по своей длине состоят в металлическом контакте друг с другом» [Л. 107]. Эту же мысль Якоби подчеркивает и в своей докладной записке от 13 декабря 1844 г. о состоянии работ по военной электротехнике.

Сам Якоби своего предложения о скрутке жил из отдельных проводников широко не использовал, так как он имел дело с проводниками малого сечения.

На первых линиях — опытной на Адмиралтейской площади и на линии Зимний дворец — Главный штаб, Якоби применял сначала проводники, изолированные мастикой, а затем пряжей, пропитанной мастикой.

В своих работах Якоби называет пропитывающий состав «мастикой» и в большинстве случаев этим ограничивается. Указания на точный состав «мастики» встречаются только для нескольких проводников — для кабеля, уложенного на линии Зимний дворец — Главное управление путей сообщения и публичных зданий (табл. 7, п. 3), для кабелей, употреблявшихся при проведении опытов электрического взрывания мин в 1842 г. и над электропроводностью воды в марте 1843 г. В последнем случае нитяная изоляция была пропитана составом из смеси льняного масла и раствора каучука. Кабель, примененный в опытах 1842 г., состоял из двух жил. Каждая жила имела два слоя обмотки из льняных ниток, пропитанных «мастикой» из воска, сала и гарпиуса. Скрученные вместе две жилы вновь дважды пропускались через горячий раствор этой «мастики» и затем обматывались пенькой. В 1846 г. в докладе «Об электротелеграфных линиях» [Л. 107] Якоби говорит о «восковой мастике». В литературе имеются также сведения, что одна из «мастик» состояла из воска и канифоли. Очевидно, Б. С. Якоби много экспериментировал над подбором пропитывающих составов.

Первые кабели Б. С. Якоби, о которых имеется мало сведений, были, вероятно, мало удачной конструкции, главным образом, из-за применения железных гильз в качестве защитной оболочки, так как при малейшем повреждении изоляции происходили побочные замыкания жилы на оболочку. Поэтому на линии Зимний дворец — Главное Управление путей сообщения и публичных зданий проводящие железные гильзы Б. С. Якоби заменяет стеклянными трубками, через которые в нитяной пропитанной обмотке были протянуты жилы. Стеклянные трубы, имевшие длину 1,5—1,75 м и диаметр 2 см, соединялись каучуковыми звеньями.

Б. С. Якоби предвидел возможность поломки стеклянных трубок от механических воздействий и поэтому проводил их предварительные испытания на прочность. Трубы зарывались в землю на глубину, меньшую, чем предполагавшаяся глубина укладки кабеля. Над местом их заглаживания устанавливалась тяжелая наковальня, о которую ударялся молот в 2 пуда весом. Довольно сильные сотря-

сения почвы, вызываемые действием молота, не приводили к повреждению трубок. Гибкость кабеля должна была обеспечиваться каучуковыми звеньями.

Электрические испытания, проведенные сразу же по окончании прокладки линии, дали сравнительно небольшие потери тока — 6,6 %. Однако уже в начале 1843 г. они достигли 30 %. В эксплуатационных условиях изоляция оказалась неподходящей: в стеклянных трубках легко образовывались трещины, сквозь которые проникала влага. Кроме того, кабель из-за хрупкости стеклянных трубок было исключительно трудно транспортировать и прокладывать. Позже Якоби предложил помещать провода со стеклянной изоляцией в защитные деревянные желоба. Об этом свидетельствует как его доклад Академии наук [Л. 107], так и находка, имевшая место в конце 1949 г. в Ленинграде. На глубине 0,85 м от поверхности земли был обнаружен деревянный желоб длиной 6,4 м с заключенными в нем двумя стеклянными трубками. В каждой из стеклянных трубок находился медный проводник диаметром 1,37 мм, изолированный суревыми нитками, пропитанными изоляционной массой воск — канифоль. Исследования показали, что найденный желоб с проводами — это кабель одной из опытных телеграфных линий Якоби.

Продолжая далее работать над подбором изоляционных материалов для кабеля, Якоби вновь обращается к пропитанной пряже. «Лучше (в сравнении с изоляцией стеклянными трубами) проволоку изолировать пряжей в виде крепких нитей, лежащих плотно по проволоке и пропитанных мастикой», — писал Якоби в 1845 г. [Л. 108, § 5].

После ряда экспериментов ученый приходит к заключению, что наиболее подходящей пряжей для изолировки являются пеньковые и льняные нити, ибо они хорошо пропитываются и при этом сохраняют гибкость. Одновременно Якоби нашел, что для изоляционного покрытия лучше употреблять нити не сильно скрученные. Сейчас общеизвестно, что крученые нити применяются только для оплетки. Но в то время, начиная производство кабелей, Якоби должен был сам дойти до каждой на первый взгляд мелочи. Проводники, изолированными пропитанной пряжей, Якоби пользовался при проведении различных исследований, в частности, при изучении проводимости воды в марте 1843 г. Работа с проводами, обмотанными пропитанной пряжей, показала, что эта изоляция часто нару-

шается. При изгибах провода происходят сдвиги изоляции и трещины в мастике, через которые проникает влага.

Вообще резкое ухудшение диэлектрических свойств изоляции в результате проникновения влаги составляло одну из главных трудностей, с которыми Б. С. Якоби приходилось бороться в течение всей работы над созданием электрических проводников. Влагонепроницаемость, как очевидно, составляет одно из основных требований к кабелям для подводных мин. Кардинально этот вопрос был решен в 1880-х годах после изобретения пресса для непрерывного наложения на кабель защитной свинцовой оболочки. Но в 1840-х годах Якоби всеми доступными ему средствами пытался избегнуть губительного действия влаги на подводные и подземные кабели или хотя бы уменьшить его.

В течение зимы 1842—1843 гг. ученый трудился над изысканием влагостойкой изоляции. При наблюдении за работой линии, на которой был применен проводник со стеклянными трубками, Б. С. Якоби обратил внимание, что каучуковые звенья, соединяющие стеклянные трубы, несмотря на протекшее время, достаточно хорошо сохранились. Опыты, поставленные для испытания свойств каучука как диэлектрика, дали благоприятные результаты. Решено было изготавливать кабели с резиновой изоляцией.

Б. С. Якоби была разработана технология наложения каучука на жилу. Каучук разрезался на полосы шириной 12—18 мм и с 50% перекрытием обивался вокруг жилы в 2 слоя. Для склеивания концов лент применялся раствор каучука. Хорошие результаты получались, когда перед обмоткой жила промазывалась густым слоем этого раствора. Строительная длина кабеля бралась 18—21 м.

Экспериментируя с различными вариантами наложения каучуковой изоляции, Б. С. Якоби изготавливал кабель, в котором поверх пропитанной пряжи были навиты каучуковые ленты. Этот кабель, как можно заключить из ряда докладов ученого, был проложен на одном из участков линии Петербург—Царское Село, но оказался недовлетворительным, так как давал весьма значительные утечки тока. Б. С. Якоби объяснил это сдвигами нитяной обмотки. Вероятно, здесь дело не только в этом, ибо при тех небольших токах, которые передавались, было бы достаточно только хорошо наложенной резиновой оболочки.

Б. С. Якоби был разработан еще один вариант кабеля с каучуковой изоляцией. На жилу навивалась трехслойная обмотка. Для предотвращения смешения полос и для их

лучшего прилегания друг к другу ленты покрывались смесью раствора каучука с асфальтом. Слой раствора наносился и поверх каучуковой изоляции. Сверху каучуковый покров оплетался пеньковым волокном, которое вновь промазывалось раствором. Подобные кабели были проложены на линии Петербург — Царское Село.

Процесс наложения изоляции составлял серьезную проблему, ибо изолировочных машин тогда не было. В основном изолировка кабелей велась вручную, но Б. С. Якоби были разработаны некоторые приспособления, которые сделали возможным изготовление большого количества проводников для телеграфных и военных целей, в том числе более 50 км кабеля для Царскосельской линии.

При ручном обвиве провода каучуковыми лентами невозможно было применять длинные ленты. Нанесение на провод коротких полос ухудшало качество изоляции, так как места склейки полос были менее прочными и часто подвергались повреждениям. Кроме этого, процесс ручной изолировки был, конечно, исключительно кропотлив и не-производителен. Якоби считал, что изготовление кабелей должно вестись фабричным путем с применением соответствующих машин, что было бы возможно осуществить при достаточно широком производстве кабелей. В то время, когда Б. С. Якоби начинал работать над сооружением подземных телеграфных линий и над гальваническими минами, никто кабелей не производил. Машинами, которые могли бы быть заказаны или приспособлены для этой цели, Б. С. Якоби не располагал. Поэтому ему самому приходилось разрабатывать устройства для улучшения операции изолировки. Одно такое устройство, примененное при подготовке проводников Царскосельской линии, ученый описал в докладе Академии наук в 1846 г. На расстоянии 18—20 м друг от друга, т. е. на расстоянии одной строительной длины кабеля, были установлены два деревянных колеса. Через оси колес пропускалась проволока, которая на этих же осях закреплялась. При вращении колес вращалась вокруг своей оси и проволока. Туго натянутые каучуковые ленты, выходящие из рук передвигающегося вдоль проволоки рабочего, спирально обвивали жилу. Установка была весьма несовершенна, что отмечал и сам Б. С. Якоби. В частности, несмотря на все старания добиться равной скорости движения колес, часто бывали случаи, когда скорости несколько различались. Это немедленно приводило к закручиванию медной жилы, а иногда и ее разрыву. На-

рушалась также и равномерность наложения изоляции.

Однако установка Якоби была одной из первых попыток механизировать процесс наложения ленточной изоляции, и с этой точки зрения она представляет интерес.

Кабель с невулканизированной каучуковой изоляцией, проложенный на Царскосельской линии, работал в течение нескольких лет (до 1847 г.), причем с каждым годом качество изоляции ухудшалось — увеличивалась ее проводимость. Каучук, проложенный в земле без защитных оболочек, постоянно подвергался действию изменений температуры и различных растворителей, присутствующих в почве. В результате происходило его постепенное разрушение и потеря изоляционных свойств. Успешное использование каучука в качестве изолирующего материала стало возможным только после изобретения способов его вулканизации (горячей — Ч. Гудьир, 1839 г. и Т. Гэнкон, 1843 г. и холодной — 1846 г.). Практически резина стала внедряться в электротехническое производство в 1860-х годах. Но в 40-х гг. XIX в. электроизоляционные качества материалов, в том числе и каучука, не были достаточно изучены. Линия Петербург — Царское Село была первой крупной линией, на которой проверялись свойства каучука как диэлектрика.

Исследования на опытных участках, а также на Царскосельской линии, убедили Б. С. Якоби, что подземные проводники необходимо окружать защитными оболочками для предохранения как от действия влаги, так и от химических и механических воздействий. При проектировании линии Петербург — Петергоф (1846 г.) Якоби уже предлагает проводник с каучуковой изоляцией закладывать в просмоленные деревянные желоба, которые должны были играть одновременно роль и защитной оболочки, и дополнительной изоляции.

При проектировании телеграфной линии Петербург — Москва, убедившись в непригодности для такой протяженной линии всех разработанных вариантов (табл. 7, п. 5), Якоби пытался использовать в качестве изолирующего вещества гуттаперчу. Был изготовлен опытный проводник длиной в несколько сот метров с толщиной изоляционного покрова в 19 мм. Однако водное испытание проводника показало, по словам Б. С. Якоби, что «...этот проводник весь обнаруживает более недостатков, чем все предыдущие, давно лежащие в земле и признанные мною неудовлетворительными». Ученым было дано правильное объяснение при-

чины постигшей его неудачи: недостаточная очиска гуттаперчи от примесей, снижающих ее изоляционные характеристики, и несовершенный способ наложения изоляции<sup>1</sup>. Прекрасно понимая недостатки подземных кабелей, Б. С. Якоби вновь делает попытку поднять вопрос о прокладке воздушных кабелей, но встречает решительный отказ.

То обстоятельство, что Якоби не удалось создать подземный кабель удовлетворительных качеств можно объяснить тем, что в 40-х гг. XIX в. электроизоляционные материалы не только не были освоены, но вопрос об их изучении только-только вставал в повестку дня, чему прежде всего способствовал своей деятельностью Борис Семенович Якоби. Сложность работы усугублялась отсутствием машинного оборудования для производства кабеля, разработанной технологии, измерительных инструментов. При всем том, как видно из вышеизложенного, Якоби сумел сделать важный вклад в кабельную технику. В 1842—1846 гг. он дал различные конструкции кабелей, имевшие все принципиальные черты современного кабеля — жилы (в том числе и скрученные), изоляцию, защитные покровы.

Экспериментально изучая свойства изоляционных материалов с точки зрения их пригодности для подземных проводников, Б. С. Якоби остановился на таких диэлектриках, которые в дальнейшем нашли самое широкое применение для производства телеграфных, а также других типов кабелей. Это резина, гуттаперча, волокнистые пропитанные вещества. Только в последние годы при изготовлении телеграфных кабелей в основном перешли на бумажную изоляцию. Подводные кабели до сих пор изолируют гуттаперчей и резиной. Б. С. Якоби также широко были использованы пропиточные составы («мастика») для повышения качества изоляции. Он разработал в доступных ему масштабах технологию производства кабелей и создал первое приспособление для наложения ленточной изоляции, являющееся прообразом изолировочной машины.

Недостаток технических и материальных средств не позволили Б. С. Якоби решить проблему создания кабеля практически удовлетворительных качеств. Сам ученый неоднократно отмечал исключительно тяжелые условия его работы по телеграфии, из которых наиболее сложной частью он считал изготовление и прокладку подземных кабелей.

<sup>1</sup> Прототип современного шприц-пресса для наложения гуттаперчевой изоляции был изобретен В. Сименсом в 1847 г.

## Телеграфные линии

Среди телеграфных линий, построенных Якоби (табл. 7), наибольший интерес в отношении прокладки и устройства представляют Царскосельская линия и проекты линий Петербург — Москва и Петербург — Петергоф как более протяженные.

Линия Петербург — Царское Село была закончена в течение двух месяцев: ее строили с 19 июня по 24 августа 1843 г. Относительно этой линии Б. С. Якоби писал, что «...в устроенном телеграфе... все нужно было делать заново. Поэтому наш телеграф не имеет ничего общего с теми, которые пробовали устроить в Германии и Англии» [Л. 98]. Она проходила по западной насыпи шоссе, соединявшего Петербург с Царским Селом. Кабель укладывался на глубине 0,5 м прямо в землю. На некоторых особенно неблагоприятных участках подсыпался слой песка. Глубина прокладки кабеля была определена Якоби из соображений защиты от внешних воздействий.

На каждой версте трассы устраивались колодцы, облицованные каменными плитами для того, чтобы обеспечить доступ к кабелю, и тем самым — возможность контроля за состоянием изоляции и ликвидации повреждений. В колодцах концы кабеля соединялись винтовыми клеммами, а места стыка обивались каучуковыми лентами. Подобные винтовые соединения были также на каждой полверсте. Опыт эксплуатации линии показал, что места соединения часто были источником нарушения нормальной работы линии, так как проволока в клеммах легко перетиралась и ломалась.

Примерно на середине линии, у деревни Каменки, была запроектирована промежуточная станция. Она в основном должна была служить для научных целей, но предполагалось использовать ее также для испытания действия автоматического телеграфного аппарата, который Якоби думал установить для переприема в случае, если было бы решено продолжить линию дальше. Но в докладе Академии наук 1844 г., специально посвященном открытию Царскосельской линии, Б. С. Якоби сообщал, что станция в деревне Каменке построена не была. В более поздних материалах [Л. 82] эта станция указывается как существовавшая. Вероятно, она была построена позже в связи с обнаружением неполадок в линии и необходимостью исследования их.

**О ПОСЛАНЬИ ЭЛЕКТРО-МАГНИТНОМУ ТЕЛЕГРАФУ, УСТРОЕННОМ НАМЕДУ С.-ПЕТЕРБУРГОМ И ЦАРСКИМ-СЕЛОМ.**

Хотя пропуск телеграфной линии, уединенной между С.-Петербургом и Царским-Селом, был произведенный способ, требовавший значительного из устройства, называемого манипуляцией, описанного в книге, указанной в предыдущем изложении, что возможно спасение убытков от передачи писем, но в связи смотреть передачи можно по телефонам, для которых, между телеграфом и телефоном, можно было пропустить большую группу.

Конечно, не собственно работа телеграфа, надлежит отнести, потому что требуется, для того чтобы звонок при пересечении струны, на телефонной линии. Он состоит из извещательных устройств.

Передать звук, или звонок, на который подается сигнал, может струна, на которой можно сделать скользящий:

- 1) Длинная скользящая,
- 2) Задвижка телеграфа.

- 3) Острий кончик струны звонка,
- 4) Задвижка телеграфа, определяющая звонок и скользящую каретку,
- 5) Шнурок скользящий 1,
- 6) Открывает телеграф и дает сигнал 1,
- 7) Освобождает машинку и пускает звонок на звонок скользящий.

А если, во то же время, и из другого телеграфа, произошла разрывность струны, то получившее звонок, звонок скользящий:

- 1) Пускает сигнал 2, останавливая струну скользящую,
- 2) Задвижка телеграфа, отпускающая звонок и скользящую каретку,
- 3) Открывает телеграф и дает сигнал 1,
- 4) Задвижка телеграфа и подает сигнал 1,
- 5) Открывает машинку и пускает звонок на звонок скользящий.

Вот так телеграфического общества, неизвестно, сколько удачно сконструировано было, чтобы избежать гравитации звезды.

«РУКОВОДСТВО» 1843 г. по обслуживанию  
пишущего аппарата Якоби  
на телеграфной линии  
С.-ПЕТЕРБУРГ — ЦАРСКОЕ СЕЛО.

Рис. 27. Инструкция по работе на пишущем телеграфном аппарате Б. С. Якоби, 1843 г.

Интересным представляется факт, что в связи с постройкой линии электромагнитного телеграфа между Петербургом и Царским Селом в 1843 г. была составлена и отпечатана специальная брошюра — руководство для телеграфистов-операторов по обслуживанию пишущих телеграфных аппаратов Якоби (рис. 27). В руководстве четко описывалась последовательность телеграфных манипуляций при вызове приемной станции, при передаче и приеме депеш. Подлинник такой инструкции хранится в Центральном музее связи им. А. С. Попова.

В 1844 г. Якоби было поручено составление проекта и сметы первой в России телеграфной линии общественного назначения — линии Петербург — Москва. Она стала необходима ввиду строительства С.-Петербургско-Московской железной дороги. Имея большой опыт научной и практической работы по созданию подземных телеграфных линий, Якоби возражал против устройства подземной линии на та-

ком большом расстоянии (651 км), так как ни сам он, ни современная ему техника не располагали возможностями для производства кабелей нужного высокого качества. Только при воздушном подвесе проводов можно было рассчитывать на успех. Тем не менее, получив категорический приказ строить подземную линию, Якоби был вынужден взяться за ее проектирование.

В табл. 7, п. 5 приведены три известные варианты конструкций кабелей, разработанных ученым. Им было также проверено несколько вариантов укладки кабеля. Первоначально кабель шел по поверхности земли между колеями железной дороги. Затем его перенесли под откос железнодорожного полотна. В этом случае через каждые 3 м кабель закреплялся забитыми в землю деревянными колышками. Позже линию зарыли на глубину 0,5 м. Все опыты проводились на участке линии вблизи Петербурга.

В 1846 г. был проложен новый опытный отрезок кабеля длиной около 6,4 км от Петербурга до Александровского завода. Испытания не дали благоприятных результатов. Исключительная научная добросовестность и честность заставили Б. С. Якоби, отдавшего много сил созданию кабельных линий, но видевшего, что они не дают уверенности в успехе, вовсе отказаться от дальнейшей работы.

Правительство сдало подряд на постройку телеграфа Вернеру Сименсу. Был проложен подземный кабель с гуттаперчевой изоляцией. Однако уже в 1854 г. совершенно разрушившуюся и непригодную к эксплуатации кабельную линию были вынуждены заменить воздушной. Убыток исчислялся сотнями тысяч рублей. Сам Якоби так писал об этом факте:

«После моего формального отказа заниматься далее подземными проводами, устройство такой линии вдоль Николаевской железной дороги в Москву было вверено иностранцу. Известно, что эта линия не прослужила даже двух лет и что она заменена в настоящее время воздушною линией. Не подлежит сомнению, что если бы я причинил казне такого рода бесполезные издержки, достигавшие от 200 до 300 тыс. рублей, то мое положение было бы сильно скомпрометировано, тем более; если бы я имел неосторожность принять на себя какую-либо ответственность в успехе, доверившись появлявшимся с упорством за границей сообщениям относительно высокой степени совершенства этих проводников. Но более странно то, 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»* (курсив мой — М. Б.) [Л. 106].

В июле 1846 г., когда Якоби вел еще проектирование линии Петербург — Москва, по приказу царя ему же было поручено устройство телеграфного сообщения между Петербургом и Петергофом (расстояние 32 км). В проекте, представленном Якоби в Главное управление путей сообщения 30 июля 1846 г., были учтены недостатки Царскосельской линии как в части кабеля (введение защитных покровов), так и в части прокладки линии.

Якоби считал возможным, не ухудшая действия телеграфа, поместить проводники на глубину 0,25 м и этим, в сравнении с Царскосельской линией, значительно сократить расходы на земляные работы. Он предполагал также вовсе не делать соединительных колодцев, осложнявших работу телеграфной установки. Связь должна была быть однопроводной: второй провод — вода.

Кабельный участок состоял из двух отрезков — одна половина трассы проектировалась по образцу линии Петербург — Москва. На другой половине должны были укладываться проводники, изготовленные для предполагавшейся ранее линии к одному из царских загородных дворцов. Первый кабель прокладывался в земле на глубине 0,25 м. Через каждые 3,2 м он поддерживался кирпичами, поставленными по два на ребро. Второй кабель предполагалось зарыть на глубину до 0,35 м. На каждой версте предусматривались «приступные сообщения на винтах», которые, однако, как отмечал Якоби в «Пояснительной записке» к проекту, были значительно упрощены в сравнении с Царскосельскими.

Проект линии Петербург — Петергоф Якоби осуществлен не был. Причину этого пока установить не удалось. Вновь вернулись к вопросу о сооружении Петергофской линии в 1849 г. Составление нового проекта было поручено военным инженерам Гетшелью и Герварту, которые ранее работали с Якоби при проведении телеграфных линий. Новый проект предусматривал ту же трассу; на каждой версте — соединительные колодцы; проводники с гуттаперчевой изоляцией, защищенные прокрашенными досками. Проводники предполагалось выписать из Германии, где к тому времени уже наладили их производство.

Дальнейшие известные нам материалы о деятельности Якоби по устройству телеграфных линий относятся к 1852 г. Нет сомнения, что последующее изучение архивных материалов пополнит промежуток времени 1847—1851 гг. фактами из работы Якоби по телеграфии, ибо создание буквопечатающего аппарата в 1850 г., электрохимического — в 1851 г., выступление с проектом телеграфной линии в 1852 г. свидетельствуют о непрекращающемся творчестве ученого в области электротелеграфии.

В феврале 1852 г. Якоби выступил в Академии наук с докладом по вопросам телеграфии [Л. 111]. Материалом для доклада в значительной степени послужили данные, собранные Якоби во время заграничной научной командировки в Западную Европу летом 1851 г. Во время своей поездки Якоби уделил большое внимание ознакомлению с состоянием электротелеграфных линий за границей, в частности, в Баварии, Пруссии, Франции. Он констатировал преобладание воздушных линий и писал по этому поводу, что «...если в настоящее время можно видеть большую часть Европы и Соединенных Штатов Америки пересеченными по всем направлениям воздушными линиями, то следует отдать дань уважения памяти барона Шиллинга фон Канштадт».

Подземные линии широко распространены были только в Пруссии, где их насаждал В. Сименс. Они были в очень плохом состоянии вследствие неудовлетворительного качества проводников. Это заставляло и Пруссию постепенно переходить на воздушную проводку.

Широкие масштабы эксплуатации телеграфных линий дали возможность выявить наличие очень многих неясных вопросов как научного, так и чисто практического характера. Затруднения, возникавшие при работе протяженных телеграфных линий, были достаточно серьезны. В основном они касались, говоря современным языком, проблемы затухания, переходных разговоров, а отсюда и проблемы изоляционных материалов, конструкции линейных устройств. В Западной Европе Якоби видел, что научно-исследовательская работа в области электромагнитной телеграфии имеет скромные успехи, что там в предпринимательском ажиотаже создаются телеграфные компании, прокладываются новые линии, которые в эксплуатации обнаруживают значительные недостатки. Систематических научных исследований по изучению процессов в телеграфных линиях не ведется. Между тем для академика Якоби

представлялось одной из важных и актуальных задач электротехники разобраться в «замечательных явлениях», «загадочных явлениях», имеющих место в телеграфной цепи, объяснить их и найти средства улучшения работы телеграфов. Поэтому в упомянутом докладе Академии наук Якоби ставит вопрос о строительстве опытной телеграфной линии, длиной не менее 100 верст, на которой можно было бы проводить все необходимые исследования. Линию предлагалось проложить на трассе строящейся железной дороги Петербург—Варшава с тем, чтобы позже включить ее как одно из звеньев в телеграфную линию, соединяющую Петербург с Варшавой.

Б. С. Якоби указывает, что планируемые им исследования важны не только для науки, но и имеют большое значение для государства. Россия, начав строить у себя линии общественного телеграфа, будет иметь научно решенными многие вопросы телеграфии, которые сейчас представляют трудности. «Незначительные расходы на опытную линию с лихвой окупятся будущими сбережениями», — добавляет Якоби.

На опытной трассе Якоби предполагал устроить воздушную телеграфную линию из двух железных проводов, проложить подземный кабель с гуттаперчевой изоляцией и затем такой же кабель, но в свинцовой защитной оболочке. Ученый хотел детально выяснить качества этих проводников, считавшихся тогда наиболее подходящими, чтобы иметь возможность сравнить их при эксплуатации в одинаковых условиях и на этом основании сделать определенные выводы и рекомендации.

Наблюдения над проводниками, различные опыты и исследования должны были проводиться на линии постоянно. Горячо заботясь о развитии телеграфии в России, Якоби предлагал использовать эту линию и для обучения инженеров-связистов, а также для практики операторов-телеграфистов.

План создания стокилометровой опытной телеграфной линии и проведения на ней научных работ для решения целого комплекса вопросов, вплоть до подготовки кадров, показывает, насколько прогрессивными были научные взгляды Б. С. Якоби и организационные формы, в которых он предлагал вести работу. Якоби один из первых понял, что проходит тот век, когда ученый, не выходя из своей лаборатории, мог открывать новые явления. Он сумел отчетливо увидеть, что новая техника предъявляет и новые тре-

бования к науке: наука должна постоянно и активно вмешиваться в практическую работу и черпать свои задачи из практики. Эту мысль Якоби подчеркивает неоднократно. В докладе Академии наук в апреле 1846 г. [Л. 107], касаясь вопроса об исследовании проводимости изоляции, осуществляемом на Царскосельской линии, он пишет, что в процессе работы выявились детали, наличие которых даже и не предполагалось при предварительном изучении вопроса, но которые стали очень заметны при практической работе. Электротелеграфия — это область, продолжает Якоби, «... в которой научное и техническое направления должны идти рука об руку (курсив мой — М. Б.). Предпринятые измерения были не роскошь, а много служили тому, чтобы получить правильное суждение о качестве всей линии и отдельных ее частей» [Л. 107, § 83].

Предложение о строительстве специальной опытной линии и масштаб предполагаемых работ на ней показали, что Якоби сумел найти новые методы научных исследований, которые впоследствии, с ростом промышленности и техники, оказались исключительно продуктивными и единственно правильными.

Для изучения проекта Якоби Академией наук была создана комиссия в составе академиков Э. Х. Ленца и А. Я. Купфера. В марте 1852 г. Комиссия представила свои выводы, сводившиеся к полному одобрению идеи Якоби о строительстве телеграфной линии, протяженностью около 100 верст по направлению Варшавской ж. д. и передаче этой линии в распоряжение Академии наук для производства опытов. На основе решения Комиссии президент Академии наук направил официальное отношение в Министерство просвещения с просьбой ходатайствовать о разрешении строительства и отпуске соответствующих средств. В апреле этого же года от главноуправляющего путями сообщения Клейнмихеля был получен ответ, который мы считаем нужным привести полностью. «Г. Министру Народного Просвещения... Имею честь уведомить, что нынешнее устройство телеграфа по СПБ—Московской ж. д. вполне удовлетворяет своему назначению, и поэтому я не нахожу надобным делать издержки на пробную линию по СПБ—Варшавской ж. д. для опытов г. Якоби»,<sup>1</sup> [Л. 77].

<sup>1</sup> Известно, что очень скоро после прокладки «вполне удовлетворявшая своему назначению» линия Петербург—Москва пришла в полную негодность, и ее были вынуждены заменить воздушной.

Так закончилась попытка Якоби поставить на прочную научную основу строительство телеграфных линий, а вместе с этим и деятельность в области электрических телеграфов.

Б. С. Якоби, которому пришлось выдержать борьбу с низкопоклонством и коснотью правящих кругов, предстает в этой борьбе как истинный патриот России. Даже из тех немногих материалов, которые здесь приведены, очевидно, что при строительстве телеграфных линий ученый столкнулся с злонамеренным пренебрежением интересами России, с закулисными интригами высших чиновников, и в первую очередь Клейнмихеля, связанного с иностранными предпринимателями.

Политика правительства в отношении развития отечественной науки и промышленности вызывала протест со стороны Якоби. Посетив Пруссию и убедившись в полной негодности подземных телеграфных линий Сименса, Якоби писал: «В связи с этим (плохим состоянием прусских телеграфов — М. Б.) я позволил себе высказать именно то мнение, что я не вижу убедительных доводов к тому, чтобы прибегать при устройстве телеграфов в России к иностранному опыту и отнимать это важное дело у отечественной науки и техники» [Л. 99]. Выше мы говорили, что Якоби возражал против сдачи подряда Сименсу на строительство заведомо негодной телеграфной линии между Петербургом и Москвой, что он предлагал свой опыт и знания для изучения и разработки наилучшего варианта прокладки телеграфных линий в России и т. п.

Авторитет Якоби в вопросах электротелеграфии был велик. Во время своей заграничной командировки 1851 г. он консультирует по вопросу наилучшего устройства телеграфных линий главноуправляющего французскими телеграфами А. Туай. В бытность Якоби в Киссингене его посещает директор Прусских телеграфов Ноттебом. В Баварии Якоби встречается с главноуправляющим телеграфом Ди-ком и пр.

У себя, в России, несмотря на большие силы, потраченные в борьбе за создание отечественной телеграфии, Якоби вынужден был оставить работы в этой области, и дело строительства телеграфных линий надолго перешло в руки иностранных дельцов.

## *Исследование проводимости земли и воды*

Начиная с 1842 г., Б. С. Якоби проводил крупные научные исследования электропроводности земли и воды для выяснения возможности их использования в качестве обратного провода в телеграфии и в электроминном деле.

Электропроводность земли и воды впервые была установлена в начале XIX в. в результате исследований немецких физиков Эрмана, Бассе и русского физика П. И. Стражова. Последующие 30—40 лет не внесли чего-либо существенно нового в изучение этого явления. В 1838 г. немецкий ученый Карл Штейнгель высказал мысль о возможности использовать землю вторым проводником в телеграфных линиях.

История взаимоотношений К. Штейнгеля и Б. С. Якоби в связи с изучением электропроводности земли весьма поучительна.

В 1843 г. Б. С. Якоби выступил в Петербургской академии наук с докладом о своих опытах над электропроводностью земли, проведенных на Царскосельской телеграфной линии. Сразу же после опубликования этого доклада в Бюллетеце Петербургской академии наук на родине Штейнгеля в Баварии «Аугсбургская газета» в приложении к номеру от 24 июня 1844 г. поместила статью, в которой отстаивалось первенство Штейнгеля в открытии электропроводности земли от «посягательства» Якоби. Выступление «Аугсбургской газеты» заставило Якоби дать оценку роли Штейнгеля в открытии электропроводности земли, что им было сделано в газете «St.-Petersbourg Zeitung», № 147, от 1(13) июля 1844 г. и затем в заседании Физико-математического отделения Академии наук 9 августа 1844 г.

Якоби писал, что он считает для себя непозволительным игнорировать работы, сделанные до него, если эти работы вносят существенный вклад в науку. Именно поэтому он в докладе Академии наук 8 октября 1842 г. [Л. 112] и ссылался на опыты, осуществленные, в частности, Эрманом и Бассе в начале XIX в. В этом ряду был бы непременно назван и Штейнгель, если бы «...он прибавил хотя немного к тому, что нам известно по сему предмету, или если бы можно было заключить из его речи 1838 г., что применение его начала к телеграфским проводникам имело место, ибо отрывки, приведенные из сей речи, допу-

сдают только возможность такого применения»<sup>1</sup> [Л. 112].

Между тем, отмечает Якоби, практическое использование земли как второй части цепи требует предварительного выяснения многих обстоятельств, о которых не могло идти речи при лабораторных опытах. Разрешение сложных вопросов практической телеграфии по однопроводной системе у Штейнгеля найти нельзя.

Вследствие всего этого Б. С. Якоби начинал свои работы, зная об электропроводности земли и воды. Однако он не имел возможности из опытов, сделанных в начале XIX в. и повторенных в 1838 г. Штейнгелем, заключить, насколько эти свойства земли и воды могут быть использованы в телеграфии для передачи тока на большое расстояние. Поэтому Якоби писал, что он «...при полном признании чужих заслуг вынужден все свои работы делать самостоятельно» [Л. 113].

Не удовлетворившись ответом Якоби, Штейнгель вновь в письме на имя президента Петербургской академии наук (декабрь 1844 г.) потребовал признания своих прав.

На заседании Физико-математического отделения Академии наук в январе 1845 г. Якоби подробно изложил суть всего дела. Отвергая претензии Штейнгеля, Якоби заявлял, что «...он (Штейнгель — М. Б.) как раз и не открыл важнейшего, а именно (возможности) передачи на большие расстояния...» и далее «...отношение между мной и Штейнгелем может быть определено таким образом: я проложил гальванический проводник в 24 версты в самой земле сначала без определенной цели (в смысле изучения электропроводности земли — М. Б.) и по окончании прокладки, равно как и ранее — во время таковой, я производил сравнительные наблюдения на концах и в промежуточных пунктах линии. Теперь я с радостью вижу, что открытия старых физиков (о проводимости земли) подтверждены и на большие расстояния. Итак, какое же участие в успехах моих работ полагает Отделение возможным приписать г. Штейнгелю?» [Л. 121].

На этом же заседании Отделение постановило для подробного освещения роли Якоби в построении телеграфных линий разрешить ему опубликовать работы в этой области

<sup>1</sup> В журнале «Отечественные записки» 1839 г., т. IV, отд. VIII в статье «Электрические телеграфы» по поводу работ Штейнгеля сказано следующее: «...он нашел, например, что земля может служить половиной проводника; открытие очень важное, если догадки его на самом деле оправдаются» (подчеркнуто мною — М. Б.).

с тем, чтобы ученых появилась возможность беспристрастно дать оценку заслугам Якоби и Штейнгеля. Отделение отмечало, что решение о публикации работ Якоби «...это действительно единственно возможный ответ, который можно было бы дать Штейнгелю, имея в виду неприличные выражения, в которых составлено его письмо и которые так же мало соответствуют как характеру научной дискуссии, так и достоинству корпорации, к которой он обращается через посредство президента» [Л. 121].

Таким образом, факт электропроводности земли и воды был открыт в начале XIX в. Исследование этого явления с целью практического применения и само первое применение однопроводных линий было осуществлено Б. С. Якоби в 1842—1843 гг.

Первые опыты телеграфирования и электровзрывания мин с использованием воды в качестве обратного провода были поставлены им осенью 1842 г. в Финском заливе у Ораниенбаума. Линия имела небольшую протяженность— 1,7 км. Вслед за этим проводились испытания электропроводности земли на действующей телеграфной линии Зимний дворец—Главное управление путей сообщения (у Обуховского моста на реке Фонтанке, 2,7 км). Для этого в землю были зарыты две металлические пластины и произведены соответствующие переключения на работу по однопроводной системе. Измерения дали благоприятные результаты: потери энергии при передаче по цепи, состоящей из кабеля и земли, составили только 3 %. Однако Якоби считал необходимым проверить, будет ли хорошая электропроводность земли сохраняться в зимних условиях, когда происходит промерзание почвы. Зима 1842 г., как пишет Б. С. Якоби, была мало подходящая для таких опытов: морозы едва достигали 9—10° С. Тем не менее, измерения были проведены и подтвердили хорошую проводимость земли и в зимних условиях. Позже Якоби повторил подобные исследования при более низкой температуре. Опыты в Финском заливе и на линии Зимний дворец—Главное управление путей сообщения были первыми пробными опытами. Задача же состояла в выяснении возможности передачи тока через землю и воду на значительные расстояния. В этом было заинтересовано и военное ведомство в связи с работами Якоби по минной электротехнике. Поэтому ученому были предоставлены условия для проведения исследований проводимости воды на специальной линии.

Б. С. Якоби настаивал, чтобы опыты были осуществлены как можно скорей — зимой 1843 г., с тем, чтобы воспользоваться льдом как изолятором. На это свойство льда впервые было указано еще В. В. Петровым, а позднее — М. Фарадеем. Якоби заодно хотел проверить, насколько «совершенным уединителем» можно считать лед.

9 марта 1843 г. в районе Петровских островов в Петербурге состоялась передача электрического тока по однотипной

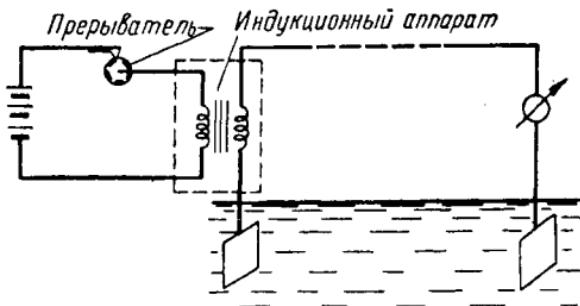


Рис. 28. Схема опытов над проводимостью воды.

проводной линии на расстояние 7,5 км. Расстояние это набиралось постепенно, начиная от 2 км (опыт 1842 г. дал уверенность в хорошей проводимости воды на дистанции 1,7 км). Через несколько дней опыты были повторены, причем дальность передачи достигла уже 9,5 км. Установка опытов имела схему, представленную на рис. 28. По льду был проложен кабель с медной жилой диаметром 1,8 мм, изолированный в два слоя пеньковыми нитями, пропитанными смесью льняного масла с раствором каучука. В качестве источника тока брались: а) вольтов столб из 100 пар медных и цинковых пластинок, разделенных картонными кружками, смоченными раствором нашатыря; б) электрический генератор по типу машины Кларка; в) батарея из 12 элементов Грове.

Кроме того, Якоби пишет, что в качестве источника тока он употреблял изобретенный им индукционный аппарат (рис. 28 и 29). Аппарат состоял из катушки с двумя обмотками и сердечником, набранным из железных проволок. К нему был присоединен прерыватель — металлическое колесико, по окружности которого были вделаны кусочки слоновой кости. Два контакта при вращении прерывателя скользили один по металлической оси, другой —

по окружности колесика. Это устройство Якоби называл «источником тока» очевидно потому, что с его помощью удавалось получать более высокое напряжение, чем могли дать одни гальванические элементы или генератор. Б. С. Якоби широко применял индукционный аппарат при своих работах в области военной электротехники. Подробнее на этом изобретении Якоби мы остановимся в гл. 4 (см. рис. 37).

На опытной линии (схема рис. 28) Якоби были проведены следующие эксперименты:

а) Включая цепь на какой-нибудь потребитель энергии (электрические запалы мин, прибор для электрохимических действий, электротелеграф и т. п.), Якоби неизменно получал замыкание цепи через воду, что окончательно убедило его в пригодности воды как второго провода. При опытах применялись различные источники тока.

б) Для выяснения, насколько быстро ток может распространяться через воду, на удаленном от источника питания конце линии вынималась из воды цинковая пластина. В цепь включался минный запал, приведенный в боевую готовность. Затем пластина осторожно погружалась в воду. «Вспламенение воспоследовало тотчас, как только край листа дотрагивался до воды» [Л. 1]. Этот опыт показал, что для замыкания электрической цепи через воду требуется бесконечно малое время, т. е., что через воду ток распространяется так же быстро, как и через другие проводники.

в) Измеряя ток утечки в изолированном проводнике, проложенном на льду, а также проводя опыты с голым проводником, Якоби убедился в том, что лед не проводит тока.

г) В воду вместо специальных цинковых пластин опускали конец простой медной проволоки, чтобы узнать, обязательно ли наличие цинковых пластин для введения в цепь воды. Мгновенное замыкание цепи происходило и без цинковых электродов.

На этой же линии ученым были проведены испытания действия различных телеграфных аппаратов его конструкции, а также дуговых и платиновых запалов для мин. Опыты с девятикилометровой однопроводной линией окончательно решили вопрос о возможности использования воды как обратного провода в протяженных телеграфных линиях, а также в других электрических линиях (например, при электрическом взрывании).

Изучение проводящих свойств земли Якоби в большом масштабе проводил и на Царскосельской линии. Для этого еще при строительстве линии на телеграфной станции в Царском Селе в пруд была опущена цинковая, а в Петербурге — медная пластина площадью в 10 кв. футов ( $0,28\text{ m}^2$ ). При телеграфировании по однопроводной схеме оба провода соединялись параллельно и подводились к одному полюсу батареи; другой полюс соединялся с заземленной пластиной. Измерения в этом случае дали лучшие результаты, чем при двухпроводной линии: при тех же самых батареях мощность, получаемая на конце линии, была, по данным Якоби, примерно в два раза больше. Вероятно, лучшие результаты при однопроводной линии были получены потому, что при параллельном соединении двух кабелей и введении на половине линии земли уменьшалось общее сопротивление линии, что и приводило к уменьшению потерь. В докладе Академии наук в 1843 г. Б. С. Якоби прямо указывал, что «...измерительные опыты над царскосельским проводом, выяснившие на практике возможность совсем обойтись без целой половины проводной цепи, показали, что бремя телеграфной службы можно возложить на мать сырьи землю» [Л. 98].

Опираясь на данные своих исследований и опыты телеграфирования по однопроводной системе на действующих телеграфных линиях, Якоби мог уже смело использовать воду или землю в качестве второго провода. Проекты линии Петербург — Москва и Петербург — Петергоф предусматривали уже прокладку только одного провода.

Таким образом, работы Якоби по изучению электропроводности земли и воды, произведенные впервые на больших расстояниях и в практических условиях, окончательно разрешили вопрос о целесообразности применения для телеграфии однопроводных систем и этим создали еще одну предпосылку для быстрого развития телеграфных сообщений в последующие годы. Современная телеграфная техника при телеграфировании постоянным током использует в основном однопроводные линии.

### *Испытание кабелей*

Большой заслугой Б. С. Якоби является введение в цикл производства кабелей такого важного звена как электрические испытания. Необходимость проверки качества кабеля была подсказана работой над созданием на-

дежного в эксплуатации кабеля и практикой прокладки телеграфных линий.

Наиболее ответственными частями кабеля является жила (величина ее сопротивления) и изоляция, целость и доброкачественность которой представляет главное условие хорошего действия подземного кабеля. Исходя из этого, Якоби в 1842—1843 гг. была разработана методика измерения сопротивления токоведущей жилы, методика испытания изоляции на целость, а также измерения сопротивления изоляции (тока утечки).

Б. С. Якоби не имел предшественников в области электрических измерений, проводимых в производственных условиях. Электроизмерительное дело, развивавшееся все еще главным образом в связи с нуждами лабораторной практики, было в то время далеко от тех значительных достижений, которые пришли позже в связи с развитием электротехники и в первую очередь телеграфии (гальванометры Томсона, мост Уитстона, абсолютная система единиц Гаусса и Вебера и т. п.).

На долю Якоби, таким образом, выпала задача идти непроторенным путем в электрических измерениях и заниматься как созданием измерительных приборов, так и разработкой методики измерений.

Для сравнительных измерений сопротивления Якоби были изобретены агометры, которые надолго вошли в практику. Для измерения силы тока ученый пользовался магнитными гальванометрами — тангенс-, синус-буссолями, дифференциальной буссолью и вольтаметром.

Испытания проводников, проводимые Якоби, могут быть разделены на две группы: контрольные испытания готовой продукции и эксплуатационные испытания.

Контрольные испытания — проверку целости изоляции и измерение сопротивления жилы — проходили все провода перед их прокладкой на линии.

Испытанию изоляции на целость подвергались проводники с каучуковой изоляцией, предназначенные для Царскосельской линии, и проводники, использовавшиеся в электроминном деле. Якоби был разработан так называемый способ мокрого (или водного) испытания целости изоляции.

Рис. 29 дает схему испытательной установки: *abcd* — ванна, имеющая размеры  $2,4 \times 0,75 \times 0,9$  м, наполненная раствором поваренной соли с добавлением небольшого

количества серной кислоты для улучшения проводимости; *A* и *B* — деревянные барабаны для намотки проволоки вместимостью примерно 525 м; *e* и *f* — медные проводящие ролики; *C* — индукционный аппарат, о котором уже шла речь. Он состоял из пустотелой деревянной гильзы с двумя обмотками (*I*) сделана из толстой проволоки, вторичная (*II*) — из большего числа витков тонкой проволоки; *m* — прерыватель, представляющий собой металлическое колесико, по окружности которого вделаны кусочки слоновой кости.

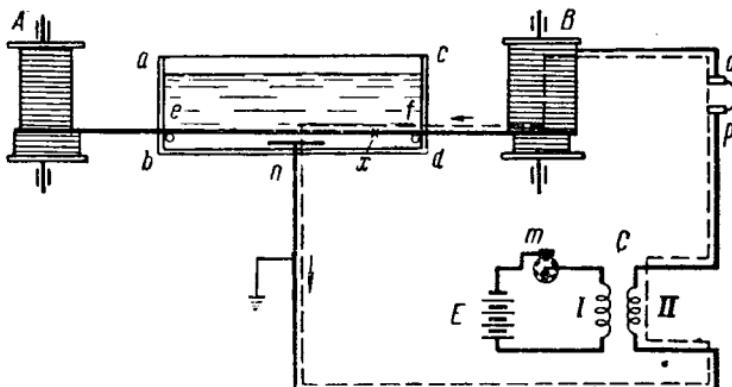


Рис. 29. Схема водного испытания кабеля.

вой кости. Два пластинчатых контакта скользят — один по ободу колесика, прикасаясь поочередно то к металлической, то к непроводящей части, другой — по металлической оси колесика; *n* — медная пластина, введенная в жидкость; *o* и *p* — два металлических рычага.

Метод испытания основывался на способности воды проникать во все дефектные места изоляции и образовывать путь для утечки тока, а при очень слабой изоляции и для пробоя. Проволока, медленно сматываясь с барабана *B*, проходила через отверстия в стенках ванны и поступала на барабан *A*, при этом она опиралась на медные ролики *e* и *f*. Одновременно, при вращении рукоятки прерывателя *m*, во вторичной цепи индукционного аппарата индуктировалось повышенное напряжение. Участок цепи *op* замыкался влажными руками человека, который играл здесь роль чувствительного гальванометра. Якобы мог бы, конечно, в качестве индикатора употребить какой-либо прибор (гальванометр, например), но, желая получить полную уверенность в исправности изоляции, он

хотел буквально своими руками прощупать весь провод, ибо считал, что «едва ли еще можно найти такой чувствительный и всегда находящийся под рукой прибор, как человеческое тело».

Если изоляция была хорошего качества, то при медленном прохождении провода через ванну вторичная цепь оставалась разомкнутой (ее замыкает ток утечки), и человек не ощущал в руках никаких сотрясений. Если же в изоляции имелся ослабленный участок за счет наличия проводящих включений, утоньшения изоляции и т. п., т. е. если сопротивление изоляции в каком-то месте было уменьшено (например, точка  $x$  рис. 29), то ток утечки достигал значительной величины, и цепь оказывалась замкнутой через жидкость. Человек, выполнивший функции индикатора тока, чувствовал это по неприятным ощущениям. «Если каучуковая оболочка тонка или пориста, то чувствовалось более или менее сильное щекотание в руках. Но если в оболочке были случайно маленькие, едва заметные на глаз отверстия, то получались невыносимые удары, которые судорогой сводили руки и невольно приводили к разрыву цепи», — писал Якоби [Л. 107, § 71]. Таким образом, обнаруживалось место повреждения. Для повторной проверки проволоку перематывали с барабана  $A$  на барабан  $B$ , она вновь проходила через жидкость и при наличии дефектного места давала замыкание цепи. Если у барабана  $A$  стоял человек, который пропускал проволоку через пальцы (что бывало при испытаниях), то при нарушении изоляции этот человек также ощущал сотрясения (цепь замыкалась через тело человека, землю и проводник).

Контролю на аппарате мокрого испытания подверглось более 50 км проволоки, изготовленной для укладки на линии Петербург—Царское Село. Эти испытания сыграли очень большую роль в улучшении качества линии. В первой партии кабеля было обнаружено большое количество дефектных мест. Испытания показали необходимость улучшить технологию изготовления кабелей, что и было сделано. Благодаря этому в остальной части кабеля число нарушений изоляции значительно уменьшилось.

Метод мокрого испытания кабельных изделий с резиновой изоляцией, впервые разработанный Б. С. Якоби, имеет в настоящее время самое широкое применение на кабельных заводах. ГОСТ предписывает водное испытание как обязательное для одиночных жил, изолированных резиной.

В современных условиях метод испытания кабелей в воде значительно усовершенствован — установки снабжены точными измерительными приборами, испытание ведется высоким напряжением от 4 до 35 кв в зависимости от рабочего напряжения кабеля, но принцип остался тот же — кабель погружается в воду и к нему прикладывается напряжение.

То обстоятельство, что Б. С. Якоби более 100 лет назад, создавая основы производства кабелей, нашел правильный метод для проверки качества кабельной изоляции, свидетельствует о глубоком понимании им поставленной задачи незаурядной технической эрудиции, позволившей найти очень простое и надежное устройство.

Другой проблемой, над разрешением которой работал Якоби, являлось измерение сопротивления проводов. Точное измерение сопротивления проводов он считал одной из самых трудных технических задач, «более трудных, чем это можно было предположить на первый взгляд». Сложность измерения сопротивления объяснялась отсутствием точных, надежных и простых в употреблении измерительных инструментов.

Для измерения сопротивления токоведущей жилы Б. С. Якоби разработал метод сравнения: сопротивление проволоки сравнивалось с известным сопротивлением агометра и выражалось в витках агометра.

Принципиальная электрическая схема установки дана на рис. 30. Здесь:

$r_x$  — искомое сопротивление, т. е. сопротивление жилы;

$r_a$  — сопротивление агометра<sup>1</sup>;

$M_1$  и  $M_2$  — обмотки мультипликатора.

При включении в цепь установки проводника, сопротивление которого должно быть определено, стрелка буссоли  $M$  отклонялась от своего положения равновесия — направления магнитного меридиана. Изменением сопротивления аго-

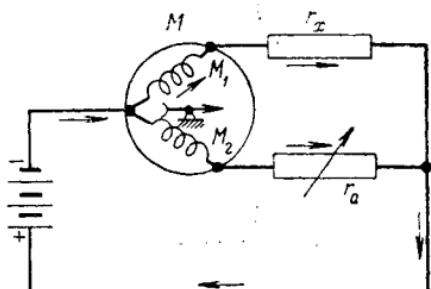


Рис. 30. Схема для измерения сопротивления жилы.

<sup>1</sup> Используемый в этих опытах агометр имел следующие размеры: длина мраморного цилиндра 228 мм, диаметр 105 мм. Мраморный цилиндр был обвит 200 витками нейзильберовой проволокой диаметром 0,635 мм.

метра  $r_a$  добивались восстановления нормального положения стрелки. Прибор  $M$  был устроен таким образом, что стрелка устанавливалась на нуле только тогда, когда токи, обтекающие встречно намотанные обмотки  $M_1$  и  $M_2$ , будут равны. Это достигалось при равенстве сопротивлений  $r_x$  и  $r_a$ . Отсюда определялось искомое сопротивление в относительных единицах — витках агометра.

При практическом осуществлении этой схемы встречался ряд затруднений. Прежде всего для своего агомет-

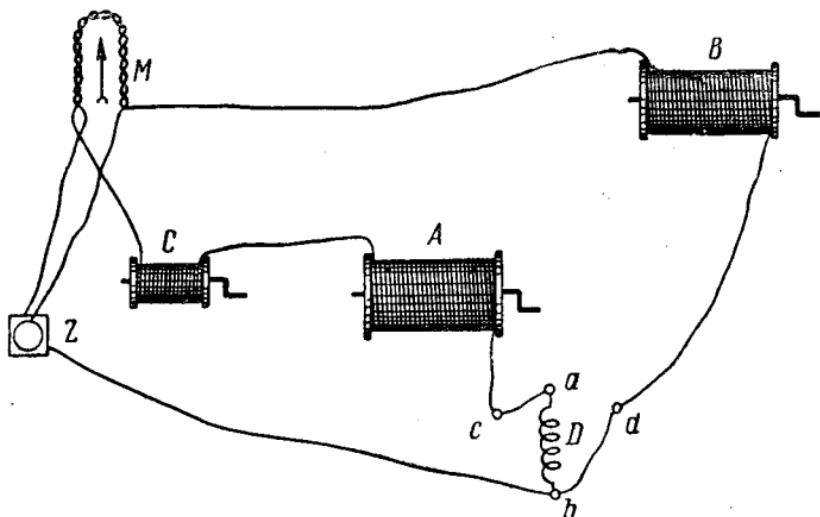


Рис. 31. Схема для калибровки витков агометра.

ра Якоби не мог получить проволоки, которая бы не имела значительных отклонений от заданного диаметра. Вследствие этого Якоби пришлось предварительно промерить сопротивление всех витков агометра и выразить их в величине сопротивления эталонной проволоки. Схема установки дана на рис. 31. Она аналогична схеме для измерения сопротивления токоведущей жилы.

До введения в цепь эталонного сопротивления  $D$  стрелка мультиплексора  $M$  устанавливалась на нуле. Затем подключалась проволока  $D$ . С помощью агометра  $A$  добивались равновесия стрелки мультиплексора, после чего вновь отключали  $D$  и вращением агометра  $B$  получали нулевое расположение стрелки. В результате число введенных в цепь витков агометра  $A$  и  $B$  было равно между собой, а также эталонному сопротивлению  $D$ : Подобным образом градуировались агометры, определенное число

витков которых соответствовало двойному, тройному и т. д. сопротивлению нормальной проволоки.

При работе с агометром, кроме того, приходилось предусматривать меры против изменения сопротивления витков в результате повреждения или загрязнения устройства, вследствие плохой работы винтовых клемм, изменения внешней температуры.

По условиям работы в качестве измерителя Якоби не мог взять зеркальный гальванометр. Он пользовался дифференциальной буссолью, обращение с которой затруднялось необходимостью точной регулировки взаимного положения двух обмоток.

В результате измерений Якоби смог установить в относительных единицах как сопротивление каждой версты проводника, так и общее сопротивление линии Петербург—Царское Село. Подобные измерения проводились также перед прокладкой линии Зимний дворец—Главное управление путей сообщения и публичных зданий.

Измерения сопротивления помогли Якоби осуществлять контроль за качеством провода и обнаруживать дефектные места — изломы проволоки, грубые отклонения от заданных параметров и т. п.

Метод сравнения, примененный Якоби в 1842 г. для измерения сопротивления телеграфных проводов, весьма близко подходил к мостовой схеме, получившей, как известно, большое распространение<sup>1</sup>.

Испытания качества кабеля в процессе укладки линии и ее работы имели задачей как проверку состояния изоляции и токоведущей жилы, так и исследование различных факторов, влияющих на эксплуатацию установки.

Еще на примере двух первых линий Якоби убедился, что изоляция, показавшая хорошее качество в предварительном испытании, оказывалась негодной в практических условиях. Из-за порчи стеклянных трубок кабеля, проложенного на линии Зимний дворец—Главный штаб, Якоби был вынужден вовсе отказаться от этой конструкции; весной 1843 г. ученый столкнулся с фактом повреждения линии Зимний дворец—Главное управление путей сообщения и публичных зданий. После обследования линии оказалось, что нарушилась изоляция вследствие проникновения в ее толщу влаги. Опыты, поставленные на этой линии и сводившиеся к измерению тока утечки, а также

<sup>1</sup> Измерение сопротивления изоляции по схеме «моста Уитстона» было предложено в 1843 г.

к проверке целости жилы, позволили Якоби обнаружить, что ухудшение изоляции (повышение проводимости) происходило не в отдельных местах, а по всему кабелю. Дальнейшие опыты на Царскосельской линии подтвердили именно такой характер изменения свойств изоляции.

Приступив к прокладке линии Петербург—Царское Село, Б. С. Якоби немедленно обратился к исследованию состояния изоляции, а также проверке целости токоведущей жилы. Для этого по мере укладки линии кабелем с одного барабана по схеме рис. 32, *a* измерялся ток утечки, а по схеме рис. 32, *b* — ток в линии. Для этого имелась небольшая батарея Даниэля и вольтаметр, которые перевозились по линии.

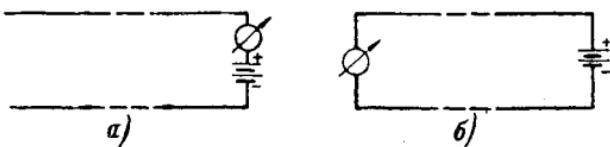


Рис. 32. Схемы для измерения тока утечки и тока в линии.

Измерения дали весьма благоприятные результаты: для большинства участков ток утечки равнялся нулю (газоотделение в вольтаметре отсутствовало) и только в начале цепи, где лежал кабель с нитяной изоляцией, обвитой сверху каучуковыми лентами, был зафиксирован небольшой участок утечки. Состояние токоведущей жилы также не вызывало опасений, однако сопротивление отдельных участков линии было неоднородно и колебалось в среднем на  $\pm 30\%$ , что в дальнейшем и дало себя знать. После того, как была закончена укладка кабеля на всей трассе, подобные измерения были повторены для всей линии. При этом батарея и вольтаметр находились на станции в Царском Селе, а концы жил кабеля соединялись или разъединялись последовательно на каждой версте. Эти измерения дали худшие результаты в смысле наличия тока утечки, что можно объяснить суммированием дефектов изоляции на длине 25 км. Подобные замеры повторялись и впоследствии при эксплуатации линии. Б. С. Якоби придавал им большое значение, считая, что они «много служили тому, чтобы получить правильное суждение о качестве всей линии и отдельных ее частей. Они были до некоторой степени компасом в океане шатких догадок, подтверждение которых позже воспринималось как награда» [Л. 107, § 83].

Логическим продолжением испытаний проводимости изоляции кабеля были исследования потерь в линии. Якоби установил, что несовершенство изоляции кабеля является основной причиной потерь при передаче электрических сигналов по линии. Омические потери вследствие небольшой величины передаваемых токов были незначительны. Для того, чтобы бороться с потерями энергии, необходимо было изучить характер этих потерь в практических условиях. Как мы уже отмечали, Якоби не имел предшественников в этой работе, равно как и в прокладке подземных телеграфных линий. Это заставляет особенно высоко ценить попытку ученого средствами научного эксперимента разо-



Рис. 33. Схема для измерения потерь в линии.

браться в совершенно новых и неясных вопросах электротехники.

Исследование потерь Якоби начал проводить еще на линии Зимний дворец — Главное управление путей сообщения и публичных зданий, а позже продолжал в большом масштабе на Царскосельской линии. Для этого была использована схема рис. 33. В качестве измерительных приборов служили вольтаметры. «При этих опытах было бы очень желательно иметь магнитные измерительные приборы на обоих станциях, — писал Якоби. — Между тем я должен был, так как подобные инструменты отсутствовали, ограничиться вольтаметрами, которые я изготовил по способу, описанному Фарадеем» [Л. 108].

Показания прибора, установленного в начале линии, т. е. на стороне батареи (рис. 33, прибор *a*), принимались за 100; показания прибора *b* давали величину тока, поступившего в приемный аппарат. Сопоставление этих двух величин указывало на размер потерь энергии при передаче по кабелю. «Отношение между начальными и конечными силами (тока) очень важный показатель при устройстве подземных проводников и должен рассматриваться особо», — подчеркивал Б. С. Якоби в одном из своих докладов Академии наук [Л. 109].

Специальные опыты, поставленные в 1842 г. на линии Зимний дворец — Главное управление путей сообщения и публичных зданий показали, что потери в этой линии, как мы уже говорили, в среднем составляют 6,6%. На этом же участке измерения были проведены в сентябре 1843 г. и августе 1844 г. Желая выяснить, как влияет на величину потерь э. д. с. батареи, Якоби проводит опыты с тремя батареями — в 12, 16 и 24 элемента и находит, что результат получается более благоприятный при использовании сильных батарей.

Здесь же ученый применил однопроводную линию, для чего включил жилы по две параллельно друг другу, а затем определил потери при параллельном включении четырех проводников. Опыты подтвердили, как это и можно было ожидать согласно закону Ома, некоторое уменьшение потерь. Однако в 1843—1844 гг. в линии имело место увеличение потерь до 30—40%, что объяснялось ухудшением состояния изоляции.

На Царскосельской линии потери сначала достигали 30%. После полного окончания строительства оказалось, что на 25-километровом пути из Петербурга в Царское Село теряется  $\frac{3}{4}$  передаваемой мощности. При телеграфных передачах из Царского Села в Петербург соотношение начальной и конечной силы тока было примерно в 2 раза лучше. Это на первый взгляд странное обстоятельство Якоби удалось объяснить совершенно правильно. Дело в том, что на стороне Петербурга был проложен кабель, изолированный пряжей и обвитый сверху каучуковыми лентами. Он обладал худшими изоляционными качествами, чем вся остальная линия. При посыпке тока из Петербурга уже на первых километрах, где лежал дефектный кабель, происходила значительная потеря энергии, а через остальную часть линии, изоляция которой также имела некоторую проводимость, шел уже ослабленный сигнал. За счет этого и получалась большая потеря энергии, чем при передаче из Царского Села в Петербург, где на отрезок кабеля, имеющий плохую изоляцию, импульс тока попадал, пройдя уже основной путь.

## *Работы по улучшению качества передачи*

Измерение потерь, произведенное на Царскосельской линии как для всей дистанции, так и для отдельных участков, показало наличие отрезков кабелей с очень плохой

изоляцией, обладающей большой электропроводностью. Якоби был вынужден разрыть линию и заменить поврежденные кабели новыми. Одновременно Якоби был разработан и осуществлен весьма интересный способ уменьшения потерь в линии. Способ сводился к следующему. Если в линии (рис. 34, а) имелись отрезки кабеля с дефектной изоляцией (*b* и *c*), то вследствие этого часть тока не доходила до конца цепи, а замыкалась на землю (пунктирная линия рис. 34, а). В этом случае вольтаметр, включенный в начале линии, показывал значительную величину тока утечки. Якоби предложил в подобных случаях производить

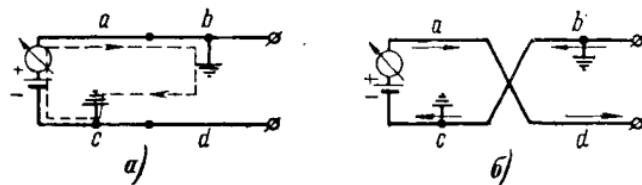


Рис. 34. Схема скрещивания телеграфных линий.

перекрещивание проводов таким образом, чтобы кабели с нарушенной изоляцией оказывались соединенными друг с другом последовательно (рис. 33, б). В этом случае отсутствовал такой благоприятный путь для тока утечки, как в первом случае, а поэтому потери в цепи снижались.

Опыты, поставленные после проведения указанных улучшений, дали уменьшение потерь в среднем в два раза. Эта мера сыграла свою роль.

Однако дело было не в отдельных плохих кусках кабеля, а в общем ухудшении изоляционных свойств каучука со временем. Поэтому перед Б. С. Якоби стояла задача каким-либо образом обеспечить на приемной станции силу тока сигнала, достаточную для срабатывания электромагнита. Ученого было два пути: увеличение силы батареи и увеличение чувствительности телеграфного аппарата. Первый путь был связан с большими расходами, а также с некоторым увеличением потерь в линии. Якоби занялся изучением возможности усиления чувствительности телеграфного аппарата. В 1843 г. он приходит к идеи приема ослабленных телеграфных сигналов путем включения приемника в местную цепь, т. е. приема сигналов с помощью трансляции.

На рис. 35 дана принципиальная схема включения телеграфного аппарата в линию.

Слабый импульс тока, приходящий с передающей станции, воздействует не на электромагнит телеграфного аппарата  $M_1$ , а на электромагнит реле  $M_2$ . Небольшая величина этого импульса оказывается достаточной, чтобы притянуть якорь и благодаря этому замкнуть ртутный контакт  $K$ . При срабатывании контакта включалась цепь местной батареи  $B_m$ . Под действием силы тока батареи  $B_m$  начинало работать электромагнитное устройство телеграфного аппарата. Таким образом, для срабатывания аппарата теперь было достаточно самого слабого сигнала, лишь

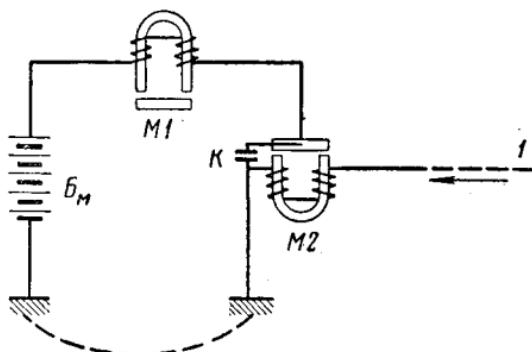


Рис. 35. Схема включения ретрансляционного реле в линию.

способного обеспечить притяжение легкого якоря электромагнитного реле.

Принцип трансляции, предложенный Якоби, помогал решить проблему телеграфирования на большие расстояния. Им ученый пользовался на линии Петербург — Царское Село. Якоби указывал, что «...выгоды такого устройства станут в особенности очевидны, когда потребуется установить электротелеграфические линии больших протяжений». В настоящее время трансляция и включение телеграфных аппаратов в местные цепи используются весьма широко.

До Якоби Дж. Генри и С. Морзе (патент 1840 г.) в Америке, Э. Деви (патент 4 июля 1833 г.) и Уитстон (патент 12 июля 1837 г.) в Англии были сконструированы подобные реле [Л. 29]. Следует отметить, что все эти изобретатели, в том числе и Якоби, работали независимо друг от друга и также независимо пришли к идеи переприема.

Несмотря на все введенные улучшения, работа телеграфа не была достаточно надежна. После упорных исследо-

ваний ученый пришел к выводу, что в линии имеет место поляризация проводников, которая оказывает вредное влияние на действие телеграфных аппаратов. Действительно, вследствие плохой изоляции и наличия в почве растворов кислот и солей при пропускании тока вокруг проводников происходит электролиз растворов и нарушается однородность проводников, что приводит к появлению э. д. с. поляризации между заземляющей пластиной и проводниками.

Для изучения поляризации и действия этого явления на работу телеграфных аппаратов Якоби в 1845 г. и в последующие годы проводил опыты на линии Петербург—Царское Село. Он нашел, что поляризация проводников по природе своей имеет такой же характер, как и поляризация электродов в лабораторных установках, отличаясь только большей величиной э. д. с., постепенным нарастанием э. д. с., продолжительностью и постоянством действия.

Поляризация проводников приводила к тому, что при отключении батареи от линии в цепи протекал ток обратного направления. Этот поляризационный ток поддерживал в электромагните телеграфного аппарата остаточный магнетизм, а при большой силе даже удерживал якорь в притянутом состоянии. Поэтому для срабатывания электромагнитного устройства телеграфного аппарата импульс основного тока должен был быть достаточно сильным не только для того, чтобы осуществить движение якоря электромагнита, но и для того, чтобы преодолеть остаточный магнетизм.

Якоби отлично понимал характер влияния поляризации на работу телеграфного аппарата, заявляя, что «...обратный ток прежде всего не позволяет применять ту слабую силу тока и ту быстроту передачи, которые допускает конструкция телеграфного аппарата» [Л. 114]. Он разрабатывает способ уменьшения действия поляризации путем включения в цепь контрбатареи.

Принципиальная схема включения контрбатареи в линию дана на рис. 36, где  $E$  — рабочая батарея;  $K$  — передатчик;  $B$  — контрбатарея;  $C$  — условная батарея, имеющая э. д. с., равную э. д. с. поляризации проводников;  $M$  — электромагнит приемного телеграфного аппарата.

При замыкании ключа  $K$  от батареи  $E$  в цепи будет протекать ток в направлении, указанном стрелками. Платиновые пластины  $a$  и  $b$  контрбатареи  $B$  заряжаются при

этом соответственно положительно и отрицательно. Возникшую э. д. с. поляризации можно условно представить батареей  $C$ . При отключении батареи  $E$  э. д. с. поляризации контрбатареи и э. д. с. поляризации линии будут действовать, как очевидно, встречно. В этом случае, если э. д. с. контрбатареи имеет величину, равную э. д. с. поляризации проводников, действие последней будет уничтожено вовсе, в других случаях — уменьшено.

Изобретение контрбатареи сыграло большую роль для поддержания в рабочем состоянии телеграфных линий,

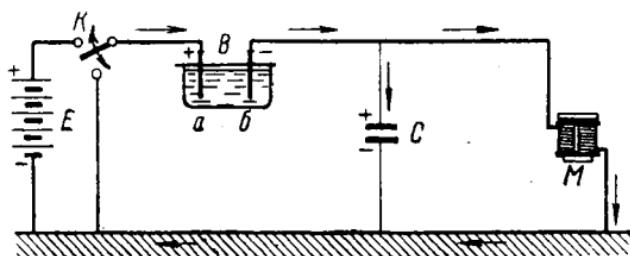


Рис. 36. Схема включения контрбатареи в линию.

уложенных проводниками с неудовлетворительной изоляцией. А именно такими проводниками в основном прокладывались подземные телеграфные линии в то время.

«Контрбатарея из платины дала возможность продолжить на некоторое время употребление подземных проводников на Царскосельской линии...», — писал Якоби, — но вследствие быстрой порчи этого провода зимой 1847 г. даже платиновая контрбатарея не приносila уже никакой пользы» [Л. 106].

Изобретение реле и введение трансляции сигналов, обнаруженные явления поляризации проводников и разработка способа борьбы с ним — все это свидетельствует о неутомимом творчестве Б. С. Якоби, который, опираясь на свои знания и изобретательность, пытался преодолеть недостатки подземных проводников, проистекавшие из весьма ограниченных возможностей техники его времени.

## *Глава четвертая*

# *Работы Б. С. Якоби в области военной электротехники*

Над минным оружием с начала XIX в. в России работали многие изобретатели [Л. 68]. Прошло около 20 лет после первого опыта взрывания подводной гальванической мины<sup>1</sup> П. Л. Шиллинга (1812 г.), прежде чем военное ведомство обратило серьезное внимание на это выдающееся изобретение русского ученого.

Русско-турецкая война 1828—1829 гг., в частности, осада турецких крепостей Варны и Силистрии, убедительно показали, что военно-инженерное искусство может оказать решающее влияние на исход операций. По плану и под руководством передового военного инженера полковника К. А. Шильдера саперными частями была осуществлена сеть минных подкопов под крепости. В сентябре 1828 г. после нескольких последовательных взрывов бастионов сдалась крепость Варна, а в июне 1829 г.—Силистрия, которые были взяты без кровопролитных штурмов, по сути дела лопатами саперов.

Однако приемы саперно-минного дела, применявшиеся в то время в армии, были крайне трудоемки (рытье минных галерей, горнов, рукавов и др.), а способ воспламенения порохового заряда ненадежен и опасен (взрыв пороха производился поджогом кожаного рукава, наполненного порохом и прокладывавшегося в минных галереях). К. А. Шильдер, хорошо знакомый с изобретением П. Л. Шиллинга, пытался еще в ходе русско-турецкой кампании использовать электрическое взрывание мин. Однако отсутствие необходимой для этого материальной части помешало осуществить этот план.

В 1832 г. по инициативе К. А. Шильдера, в то время

<sup>1</sup> Так назывались мины, приводимые в действие электричеством.

командира лейб-гвардейского саперного батальона, начались опыты взрывания минных зарядов электрическим током. В этом же году при маневрах войск под Красным Селом опыты с гальваническими минами были проведены в относительно большом объеме. Они отчетливо показали эффективность нового оружия. Работа над гальваническими минами с этого времени не прекращалась и осуществлялась на базе Гвардейского саперного батальона группой русских военных инженеров во главе с П. Л. Шильдином и К. А. Шильдером.

К концу 1830-х годов преимущества гальванических мин стали вырисовываться все очевиднее, и высшее начальство отдало официальный приказ о проведении работ над гальваническими минами и об образовании Особой учебной гальванической команды. Одновременно, в значительной мере благодаря инициативе и наставнию генерала К. А. Шильдера, начались исследования подводных гальванических мин.

Эти исследования были тесно связаны с осуществлямыми тогда К. А. Шильдером работами в области военно-морского дела. В 1834 г. на Александровском заводе была построена изобретенная Шильдером подводная лодка. Подводная лодка была сделана из железа и имела весьма оригинальную конструкцию. Для атаки противника с подводной лодки Шильдер предполагал использовать гальванические мины. Одновременно изобретатель работал над созданием фугасных ракет и первого бронированного парохода «Отважность», который должен был быть защищен своеобразной броней из пробкового дерева, проложенного между двойными бортами [Л. 68]<sup>1</sup>. Решение всего этого комплекса вопросов, как вскоре понял К. А. Шильдер, требовало усилий разносторонних специалистов, и он обратился в правительство с просьбой создать Комитет, который занялся бы изучением поставленных проблем. Комитет о подводных опытах (КОПО) был образован в октябре 1839 г. в составе представителей военного и морского ведомств, а также Б. С. Якоби и полковника корпуса горных инженеров П. Г. Соболевского, ранее принимавшего участие в работе «Комиссии о приложении магнетизма к движению судов по способу профессора Якоби». Организация Комитета ускорилась тем обстоятельством, что военное и

<sup>1</sup> О работах К. А. Шильдера см. С. А. Шерр, Изобретения К. А. Шильдера в области подводного судостроения, «Труды Института истории естествознания и техники», 1956, т. 13.

морское министерства в этот период усиленно занимались разработкой мероприятий по усилению обороны портов, а вопросы, выдвинутые Шильдером, имели к этому прямое отношение.

Еще до образования КОПО, в июле 1839 г., по просьбе Шильдера к его работе был привлечен Якоби, глубокие знания которого были необходимы для решения той части задачи, которая касалась электрического взрывания мин. Якоби было поручено разработать «гальванический снаряд по улучшенному способу, могущий действовать на первый случай на расстояние до 500 футов (150 м) так, чтобы снаряд сей во всех случаях мог быть удобно, скоро и верно приготовлен к действию при возможно простой конструкции» [Л. 76]; составить инструкцию по употреблению этих батарей, а также изготовить необходимое количество запалов к минам, т. е. подготовить электротехническую часть изобретений Шильдера.

С образованием Комитета это задание для Якоби было подтверждено.

Одним из первых пунктов программы деятельности КОПО были названы работы по усовершенствованию подводных мин и гальванических батарей. В дальнейшем подводные мины стали основной темой занятий Комитета, так как остальные вопросы, касающиеся подводной лодки и парохода «Отважность», вскоре отпали, ибо техника этого времени не имела еще достаточных средств для решения проблемы подводного плавания и строительства бронированных судов. Второстепенное место заняли и вопросы действия фугасных ракет и проектирования плотов.

Комитет о подводных опытах просуществовал около 15 лет и явился органом, в котором наряду с Особой учебной гальванической командой была сосредоточена вся научная и исследовательская работа в области минного вооружения в России. По мере развертывания деятельности КОПО ведущую роль в нем начинает играть Б. С. Якоби, приглашенный вначале только как специалист-электротехник. Включившись в работу и ознакомившись с новым для него делом, Якоби сумел понять весь объем стоявшей задачи. Он включился в разработку всего комплекса гальванических мин, начиная от подбора наиболее целесообразной формы корпуса мины, конструкции запала и источников питания и кончая способом установки линий минного заграждения. Успехи Якоби очень скоро завоевали ему руководящее место в деятельности Комитета. Не слу-

чайно в отчетах КОПО за 1847 и 1848 гг. специально подчеркивалось, что занятия Комитета проходили «при особенном участии члена оного г. академика статского советника Якоби» [Л. 80, дело 50 и 52].

Одновременно с работой в КОПО, в начале 1840 г., Якоби было поручено создание гальванических батарей для саперного батальона, где, как говорилось выше, проводились опыты над электрическими минами.

Высшее военное начальство предложило Якоби обеспечить электротехническую часть сухопутных мин, а также заняться обучением офицеров, назначенных в Особую учебную гальваническую команду, теоретическому и практическому курсу гальванизма.

Работы Якоби в КОПО, а также над полевыми минами имели электротехнический уклон, но одновременно в большей степени носили военно-тактический характер.

Якоби выступил как один из создателей нового вида оружия, а также как инициатор введения гальванических подразделений в саперных батальонах и организатор подготовки русских гальванеров. Деятельность Якоби в области военной техники сыграла основополагающую роль в развитии и внедрении военной электротехники в армии и флоте России. Несомненно, что эта сторона его деятельности оказала влияние на общее состояние военного дела, ибо, говоря словами Энгельса, «...успехи техники, едва они становились применимыми и фактически применялись к военным целям, тотчас же — почти насильственно, часто к тому же против воли военного командования — вызывали перемены и даже перевороты в способе ведения боя» [Л. 94, стр. 160].

Мы остановимся только на некоторых, преимущественно электротехнических, работах Якоби в области электроминного дела.

### *Работы Якоби по подводным минам.*

#### *Электротехническая часть минного оружия<sup>1</sup>*

На основании изучения деятельности Комитета о подводных опытах (КОПО) и связанной с ним работы

<sup>1</sup> Ввиду того, что работы по созданию морских и полевых мин велись Якоби одновременно и имели почти полностью совпадающие задачи в части источников тока, проводников и запалов, в этом разделе речь идет об электротехнической части как морских, так и сухопутных мин.

Б. С. Якоби составлена табл. 8, в которой в хронологическом порядке даны все основные моменты деятельности КОПО и по которой легко уяснить ход работ и последовательность в разрешении научных и практических вопросов создания подводных мин.

Как видно из табл. 8, большой удельный вес в работе КОПО имели вопросы совершенствования неэлектрической части минного оружия — выработка целесообразной конструкции корпуса мины с точки зрения устойчивости и водонепроницаемости, изучение разрушающего действия мины в различных условиях, а также проблема установки и закрепления мин и разработка тактики минной обороны. Электротехнические вопросы сводились к конструированию и испытанию источников тока, совершенствованию проводников, созданию запалов мин и соединительных приборов. Очевидно, что как первый, так и второй круг проблем были между собой тесно связаны и не могли разрешаться один независимо от другого. Останавливаясь более подробно на электротехнической части, мы будем в большей или меньшей степени касаться и остальных сторон создания минного оружия.

### *Источники питания*

Как уже отмечалось, первое успешное осуществление гальванической мины принадлежит П. Л. Шиллингу. При жизни П. Л. Шиллинга это изобретение совершенствовалось в процессе испытаний в армии, однако многие вопросы практического применения гальванических мин требовали дальнейшей разработки. Сконструированные Шиллингом для опытов элементы минного устройства, в том числе вольтов столб, состоявший из большого числа медно-цинковых пластин, разделенных картонной прокладкой, нуждались в определенном улучшении.

Задача, которая стояла перед Якоби в начале его работ по военной электротехнике в 1839 г., заключалась в создании гальванической батареи, качества которой определялись специальным ее назначением: она должна была бы быть достаточно сильной и в то же время портативной и легко приводящейся в действие. Главное затруднение, встречавшееся при пользовании вольтовым столбом (например, конструкции П. Л. Шиллинга) или известными гальваническими батареями, было в том, что эти источники тока были громоздки, для сборки их элементов перед употреблением требовалось сравнительно много времени. Предва-

Таблица 8

## Работы Комитета о подводных опытах (КОПО)

Дата	Содержание работы
1839 г.	Организация Комитета о подводных опытах. Принятие программы деятельности. Подготовительная работа.
1840 г.	Создание Якоби новой конструкции гальванических батарей. Исследование механической прочности и водонепроницаемости корпуса мины. Изучение степени разрушающего действия мины и возможности их взаимного расположения с тем, чтобы при взрыве одной мины избежать повреждения соседних.
1841 г.	Организация Особой учебной гальванической команды. Продолжение тематики работ 1840 г. Дискуссия о возможности обороны портов.
	Определение разрушающего действия подводных мин на судно, проходящее на некотором расстоянии от мины. Испытание мин Нобеля и системы их подвеска (переметы).
1843 г.	Исследование проводимости воды, качества проводника с каучуковой изоляцией и вопроса о допустимом расстоянии между минами.
1844 г.	Изобретение Якоби гальваноударных мин (с соединительным прибором) и военного телеграфа. Безвозмездная передача Якоби своего изобретения России. Составление программы работы Особой учебной гальванической команды.
1845 г.	Испытание мин и переметов Нобеля. Опыты с минами и учебные занятия Гальванической команды.
1846 г.	Испытание мин и переметов Нобеля. Опыты с минами и учебные занятия Гальванической команды.
1847 г.	Опыты взрываания мин, изобретенных Якоби; в Оранienбауме в присутствии царя.
1848 г.	Приказ о введении минного оружия в Морском ведомстве. Прекращение испытаний мин Нобеля. Испытания минных устройств. Изготовление снаряжения гальванических мин (изолирование проводников, изготовление минных корпусов, запалов, зарядка мин и батарей), а также учебная работа (спуск и подъем мин, обслуживание минных линий и т. п.) в Гальванической команде.
1849 г.	Изучение гидростатической устойчивости мин. Разработка способов погружения мин. Опыты в Кронштадте, показавшие необходимость помещать соединительный прибор в корпус мины.
1850 г.	Создание Якоби нового образца мины. Шестинедельные опыты над минами для выяснения практического действия мин, а также точности действия соединительных приборов. Решение о возможности практического применения минного оружия.

Дата	Содержание работы
1852 г.	Испытание минной оборонительной системы на Ревельском рейде под руководством Ф. Литке.
1854— 1855 гг.	Подготовка и осуществление минных заграждений на Балтийском море.

рительная сборка и зарядка их была не вполне целесообразна, так как действие гальванических батарей и при разомкнутой цепи с течением времени ослабевало.

В марте 1840 г. Якоби смог доложить Комитету о первых результатах своей работы. Якоби сконструировал две батареи — медно-цинковую и платино-цинковую. Они были так называемого «поворотного типа» (термин Якоби): при бездействии батареи пластины выводились из жидкости, а при необходимости включить ее в цепь опускались в раствор поворотом механизма, предусмотренного для этой цели. Благодаря такому приспособлению, по словам Якоби, «несколько секунд времени достаточно, чтобы снаряды сии изготовить к воспламенению мин» [Л. 68, стр. 16]. Электролиты обоих батареи были заключены в закрытые сосуды, чем достигалась возможность более удобной транспортировки, а также уменьшалось испарение жидкостей. Якоби отдавал предпочтение платино-цинковой батарее, так как эта комбинация металлов создавала большую э. д. с.

Батареи новой конструкции испытывались во время минных учений в 1840 г. В августе 1840 г. были осуществлены специальные опыты для сравнения батареи Якоби и вольтова столба, применявшегося Шиллингом. Испытания показали безотказность (в условиях опытов) действия обоих источников тока при значительных преимуществах батареи Якоби в отношении конструктивного выполнения. Но вместе с тем оказалось, что вольтова столб давал более высокое напряжение, чем батареи Якоби. Последние могли воспламенять лишь отдельные платиновые запалы на расстоянии не более 400—450 м. Комитет в связи с этим констатировал, что «...хотя батареи Якоби в то время еще уступали старой батарее в отношении силы и дальности действия, но зато имели преимущества во всегдающей готовности к действию, что составляет на море особенную важность...» [Л. 80, дело 24].

Поворотные батареи были первыми, но не единственными гальваническими батареями, сконструированными Якоби в процессе работы над минами. Он перепробовал множество вариантов, отыскивая наилучшую конструкцию. В 1845 г. Якоби, например, писал, что ему «... удалось значительно усилить действие вольтова столба, ... для этого накладывали на медную пластинку картонную, пропитанную раствором цинкового купороса или нашатыря, а потом цинковую пластинку» [Л. 1]. Ставил Якоби и специальные опыты над сухой гальванической батареей, изобретенной поручиком П. Багратионом.

Однако практика и переход от опытных мин к боевым вскоре показали, что для взрыва больших зарядов требуется значительное напряжение, для получения которого приходилось брать батареи из большого числа элементов, вследствие чего установка получалась громоздкой и ненадежной. Это заставило Якоби заняться изысканием нового источника электрического тока.

Несколько ранее, в 1843 г., Якоби пришел к устройству, замечательному по глубине заложенных мыслей и техническому решению. Имея в виду основное требование к источнику тока для питания минных запалов<sup>1</sup>, а именно — значительное напряжение при малых габаритах, Якоби предложил использовать индукционную катушку для повышения напряжения, получаемого от небольшой гальванической батареи. Схема подобного «индукционного аппарата» или «электромагнитного прибора» (термин Якоби), употребленного при опытах над проводимостью воды в марте 1843 г., дана на рис. 28, описание конструкции — на стр. 153.

В ходе работы Якоби над минами этот прибор был усовершенствован и в 1859 г. имел устройство, приведенное на рис. 37. К сожалению, пока не удалось установить, в каком году Якоби дал конструкцию индукционного аппарата с автоматическим прерывателем, хотя известно, что такой прибор был создан им ранее 1850 г.

Индукционный аппарат (рис. 37) состоял из двух частей: *A* — индукционной катушки или катка, как называли ее в армии, и *B* — прерывателя. На сердечник *a* наматывались две обмотки — первичная и вторичная, из более тонкой проволоки и с большим числом витков, чем первичная. Концы первичной обмотки (*I*) через прерыватель

<sup>1</sup> Якоби, как будет показано ниже, преимущественно употреблял угольные запалы.

$\dot{B}$  подключались к источнику тока  $E$ . Вторичная обмотка (II) соединялась с запалом.

Прерыватель состоял из электромагнита  $M$  с якорем  $T$  и переключателя  $B$ , представляющего собой металлическую дугу, погруженную концами в чашечки со ртутью. При протекании тока по первичной цепи электромагнит притягивал якорь, который поворачивался около непо-

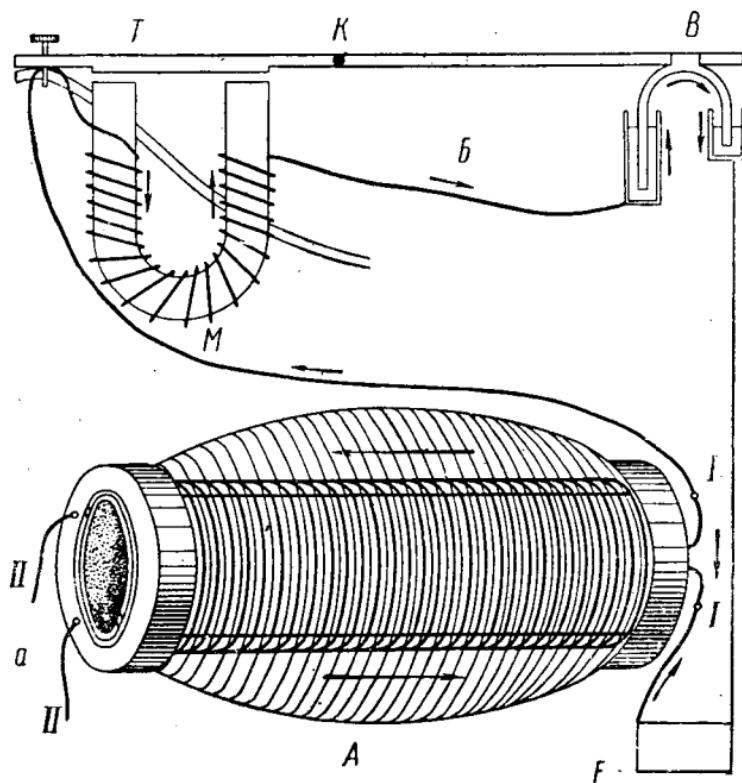


Рис. 37. Схема включения индукционного аппарата Б. С. Якоби.

движно закрепленной точки  $K$ . Вследствие этого происходил разрыв цепи, ибо конец дуги переключателя выходил из чашечки со ртутью. Электромагнит обесточивался, якорь возвращался в исходное положение, ртутный контакт восстанавливал цепь и т. д. В результате во вторичной цепи индуцировался ток более высокого напряжения.

Индукционный аппарат, писал Якоби, «...будучи соединен с одним или двумя элементами Грове, производил посредством угольков воспламенение пороха на всяком произвольном расстоянии» [Л. 1, лист 201]. Это был большой

успех, если учесть, что с помощью первых батарей Якоби поворотного типа можно было работать на расстоянии до 400 м.

Таким образом, Якоби изобрел устройство, позволившее получить повышенное напряжение во вторичной цепи. Индукционный аппарат Якоби по цели, для которой он создавался (получение повышенного напряжения), по назначению (действие в системе запала), а также по основным конструктивным элементам (индукционная катушка с прерывателем) аналогичен индукционным катушкам, которые до настоящего времени применяются в системах зажигания автомобиля, трактора, самолета и т. п. Это говорит о глубоком понимании ученым возможностей, которые открывало применение электрической энергии, и об исключительно целесообразном их использовании.

Специального сообщения о своем индукционном аппарате по вполне понятным причинам (секретность работ) Якоби нигде не делал. О нем имеется только упоминание в одном из докладов ученого Академии наук в 1845 г. Поэтому не удивительно, что замечательное изобретение Якоби осталось в тени и не получило должной известности.

Индукционные аппараты широко применялись в подводных, а также в сухопутных минных устройствах. Работа в практических условиях показала, что индукционные аппараты, обладая неоспоримыми достоинствами, были все же неудобны в эксплуатации в связи с наличием гальванической батареи, которая очень часто, особенно при перевозках, портилась, требовала ухода, имела жидкий электролит. Кроме того, ненадежными оказались ртутные контакты между батареей и обмоткой индукционной катушки.

Таким образом, из опыта саперных батальонов становилось все яснее, что гальванические элементы как источники питания непригодны.

В начале 1840-х годов были уже известны конструкции электрических генераторов<sup>1</sup>. Практического применения они тогда еще не нашли, так как эти первые генераторы были весьма несовершенны и, кроме того, еще не было потребителя, нуждавшегося в больших количествах электроэнергии. Тем не менее, Якоби все же решается применить электрический генератор для питания минных установок.

<sup>1</sup> Пиксии — 1832 г., Кларка — 1836 г. и др.

По-видимому, эти опыты дали неплохие результаты, так как в начале 1842 г. Якоби уже создал электромашинный (магнитоэлектрический) генератор.

Имеются основания считать, что этот генератор имел устройство, близкое к описанному Якоби в 1846 г. (рис. 24). Нам известно, что в 1859 г., т. е. спустя только около двух лет после отставки Якоби от работ в военном ведомстве, в гальванических подразделениях саперных батальонов широко использовались электромашинные генераторы, конструкция которых точно совпадает с приведенной Б. С. Якоби в 1846 г. Магнитная система такой машины состояла из двух постоянных магнитов (отсюда и название—«магнитоэлектрический»), набранных из отдельных пластин. Катушки с сердечниками из мягкого железа были намотаны медной проволокой, изолированной шелком. Вращение ротора (катушек) производилось вручную. Интересна конструкция коммутатора. Он составлялся из двух медных цилиндров, отделенных друг от друга изолирующей прокладкой (слоновая кость или перламутр) и насаженных на вал машины. На цилиндры выводились концы обмотки катушек. По поверхности цилиндра скользили плотно прилегающие пружины, которые и снимали напряжение. Это уже был простейший коллектор машины постоянного тока в современном понимании этого слова.

Главные преимущества электрического генератора («магнитной батареи», как называл его Якоби) изобретатель видел в надежности, легкости обслуживания (отсутствие жидких электролитов) и постоянной готовности к действию. Несмотря на эти явные достоинства, генератор не получил широкого применения, особенно в первое время. Якоби пользовался им большей частью при опытах: в 1843 г. — при изучении проводимости воды, в 1847 г. — при испытании своей минной системы в присутствии царя и т. п. Такое ограниченное применение электрической машины сам Якоби объяснял отчасти дорогоизнью ее первоначального устройства, отчасти необходимостью специального способа установки угольков запала. Нам представляется, что одной из причин незначительного использования генератора было то обстоятельство, что Якоби долго ориентировался на гальванические батареи, считая, что все зависит от их дальнейшего совершенствования. Кроме того, ощущительны были и недостатки генератора (пульсация тока, размагничивание постоянных маг-

нитов). И только позже (1848 г. и далее) Якоби стал вводить генераторы в практику минного дела. В это время он усиленно занимается разработкой электрических генераторов. «По снабжению в прошлом году (1848 г.) четырех саперных батальонов гальваническими снарядами,— писал Якоби,— беспрерывно обращаемо было внимание на усовершенствование магнитных батарей как в физическом, так и в механическом их отношении и в настоящее время достигли той степени совершенства, которая необходима для вышеизложенных условий (требования к источнику тока для военных целей — М. Б.). Единственный недостаток магнитных батарей — высокая цена, примерно на 200 рублей больше, чем электромагнитных индукционных приборов... Но как прочность магнитных батарей весьма значительна, и они, как до сих пор показал опыт, требуют весьма малого ремонта, то в сравнении с другими приборами... издержки покроются в течение 4—5 лет» [Л. 1, лист 110]. Доводы, приводимые Якоби в пользу электрогенераторов, были признаны убедительными, и последовал приказ о снабжении электромагнитными генераторами саперных батальонов.

Во время Крымской кампании, в которой подводные гальванические мины получили первое боевое крещение, Якоби в Кронштадте устроил систему минного заграждения. Источником питания запалов мин служили гальванические батареи, установленные на берегу. К батареям были подключены магистральные проводники, от которых отходили ответвления к каждой группе мин (групп было 10). Стремясь увеличить силу действия батареи, Якоби применил изобретенное им оригинальное устройство — распределитель тока (термин Якоби). С помощью распределителя тока в каждый данный момент с батареей оказывался соединенным проводник какой-либо одной группы, а не всех групп, как раньше. В результате этого каждая группа получала возможность питаться в десять раз большим током. Продолжительность соединения одного проводника с батареей составляла  $1\frac{1}{5}$ — $1\frac{1}{4}$  сек, т. е. каждый проводник подключался к батарее через  $2$ — $2\frac{1}{2}$  сек. Эти промежутки времени практически были вполне приемлемы, так как неприятельское судно не имело возможности так быстро пройти через линию мин и, следовательно, должно было быть подорвано одной из мин. Использование распределителя тока давало особенно большой эффект в том случае, когда было очевидно, на какие группы мин идет неприятель

Тогда имелась возможность всю силу батареи использовать для взрыва мин данных групп.

Распределитель тока позволял избежать применения больших гальванических батарей и в то же время обеспечивал минные заграждения достаточным количеством электроэнергии. К сожалению, в делах КОПО и в архиве Б. С. Якоби более точного описания конструкции этого прибора обнаружить не удалось.

В 1876 г. было издано «Руководство по минному искусству в применении его к подводным оборонительным

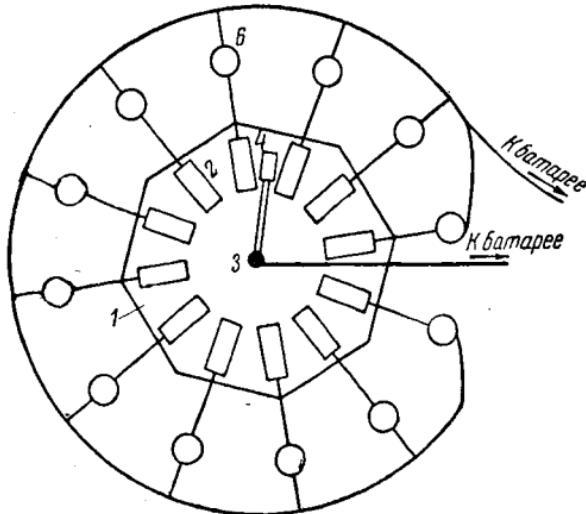


Рис. 38. Схема распределителя (контактного прибора) по описанию М. М. Борескова.

минам и гидротехническим работам» видного военного инженера М. М. Борескова, принимавшего непосредственное участие в электроминных работах во время Крымской войны и, следовательно, знакомого с трудами Б. С. Якоби в этой области. В книге Борескова приводится описание так называемых контактных приборов, применявшихся в минных установках. По назначению и по принципу действия эти контактные приборы были ничем иным, как распределителями тока Якоби. Вполне вероятно, что в деталях конструктивного выполнения этих приборов имеются некоторые различия, но принцип их действия один и тот же.

Мы воспроизводим<sup>1</sup> данное М. М. Боресковым описание одного из контактных приборов (рис. 38). На доске 1,

<sup>1</sup> По [л. 89].

сделанной из изолирующего материала (дерево, эбонит и др.), монтировались медные пластинки 2, к которым присоединялись проводниками подводные мины 6. Вращением вокруг оси 3 скользящего контакта 4 достигалось последовательное замыкание цепи тока отдельных мин, а этим самым и их взрыв. Интересно, что это изобретение Якоби вновь было повторено в наши дни и имеет немалое распространение в практике взрывных работ. В 1934 г. о нем писали [Л. 65, стр. 53] как о «новом» способе, предложенном Вороновым, а также американцем Мак-Брайдом. Принцип действия приборов этих авторов не отличается от принципа действия распределителя тока Якоби. Конструктивное выполнение современных электропереключателей, имеющих широкое применение и в устройствах электроавтоматики, конечно, более совершенено. Но то обстоятельство, что Якоби пришел к идеи последовательного подключения групп мин к источнику питания и разработал переключающее устройство, говорит о выдающемся изобретательском таланте ученого.

Провода, используемые Якоби в минных установках, были сначала изолированы нитяной обмоткой. После 1843 г. Якоби в основном перешел на кабель с резиновой изоляцией. Кроме того, он употреблял, правда, в очень небольшом количестве, кабели с гуттаперчевой изоляцией. Ими были снабжены некоторые саперные батальоны. Однако скоро обнаружилось, что при эксплуатации гуттаперчевая изоляция быстро нарушается и провода выходят из строя. Подробно об электрических проводниках говорилось в гл. 3.

После проведения тщательных опытов над электропроводностью земли и воды (1843—1844 гг.) питание минных запалов производилось на море и суще по однопроводной схеме.

### *Электроавтоматические минные устройства*

Работая над совершенствованием минного оружия как для флота, так и для сухопутных войск, Якоби создал несколько конструкций мин. Для подводных мин (табл. 8) Якоби приходилось решать вопросы плавучести мин, механической прочности корпуса (способность выдержать удар судна), водонепроницаемости, повышения боевой мощи мин (разрушающего действия). Им были созданы различные конструкции мин, отличавшиеся друг от друга формой и материалом корпуса, размещением запала и соединительного прибора и т. п.

Мины с соединительными приборами или «самовосстанавливающиеся» мины, как называл их Якоби (гальваниоударные — по военной терминологии), были его совершенно оригинальным изобретением (рис. 39). Еще в 1841 г. учёный указывал, что весьма сложной проблемой при взрывании гальванических мин является точное определение

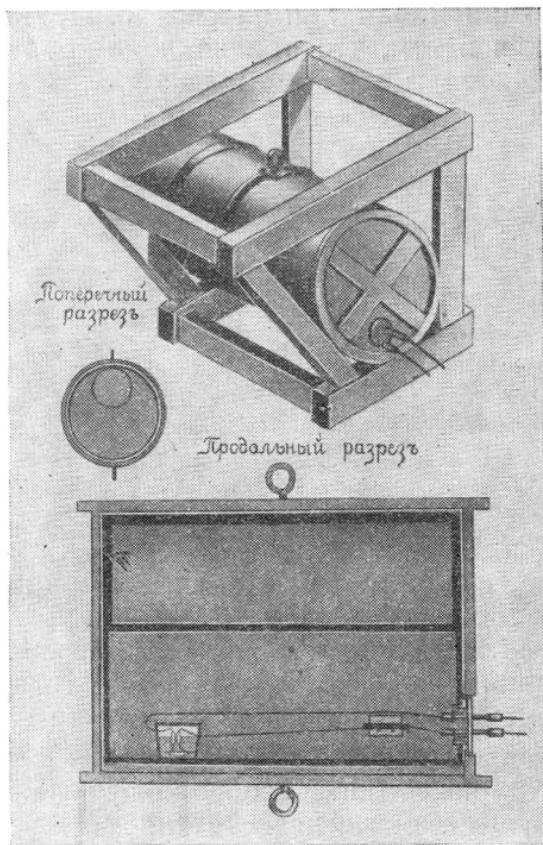


Рис. 39. Гальваниоударная мина  
Б. С. Якоби.

момента, когда корабль проходит над миной, с тем, чтобы как раз в этот момент, замкнув электрическую цепь, осуществить взрыв. Наблюдатели, находившиеся для этой цели на берегу, не могли обеспечить надежности действия мин. Следовательно, надо было использовать технические средства. Конечно, можно было воспользоваться оптическими приборами для определения местонахождения противника, разработать систему наблюдения, математическо-

го вычисления координат и т. п. Якоби, отмечая возможность такого пути, не пошел по нему. Ученый-электротехник решил эту сложную задачу сравнительно просто, возложив все на электричество. Так в 1844 г. появилась мина с соединительным прибором, который автоматически обеспечивал взрыв мины при ударе ее о корпус неприятельского судна<sup>1</sup>. Простейший ртутный соединительный прибор конструкции Якоби дан на рис. 40. Принцип действия его заключался в том, что при наклоне корпуса мины (от

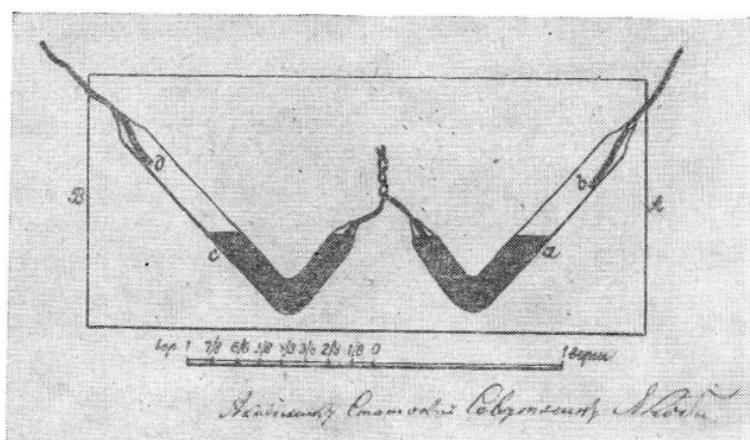


Рис. 40. Ртутный соединительный прибор.

соприкосновения с судном) ртуть в одном из коленцев замыкала платиновые проволочки, а тем самым электрическую цепь запала мины.

Гальваноударные мины, особенно первые их конструкции, имели существенные недостатки.

Главным пороком таких мин было частое срабатывание соединительного прибора при наклоне мины от сильного волнения воды.

Над устранением этого недостатка Якоби много работал. Им было создано несколько ртутных, а также ряд других соединительных приборов. На рис. 41 показан так называемый шариковый соединительный прибор. При наклоне мины шарик выкатывался из углубления и, касаясь металлической обшивки полости прибора, замыкал

<sup>1</sup> При прохождении своего корабля соединительный прибор не срабатывал, так как в этом случае на берегу размыкалась электрическая цепь.

цепь. В 1850 г. Якоби были проведены специальные большие испытания различных образцов соединительных приборов.

Соединительные приборы вначале помещались вне тела мины, в особом поплавке. Однако практика показала, что это неудобно, и в 1849 г. ученый построил мину, соединительный прибор которой располагался в корпусе. Позже, во время Крымской войны, Якоби несколько изменил конструкцию. Он поместил соединительный прибор (*a*) и запал (*b*) в корпусе мины, но изолированно от по-

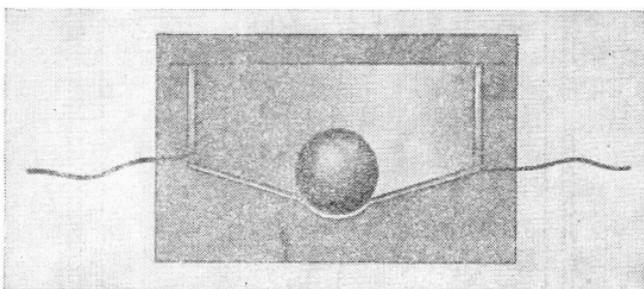


Рис. 41. Шариковый соединительный прибор.

роховой камеры (*A*) (рис. 42), так как при малейшем повреждении соединительного прибора или запала при старом устройстве приходилось вскрывать всю мину, что приводило к ее порче. Выведением запала и соединительного прибора из пороховой камеры устраивалось также «некоторое участие пороха в гальваническом действии». В минах этой конструкции появлялась возможность вставлять соединительный прибор и запал только перед установкой мины, чем уменьшалась вероятность их повреждения<sup>1</sup>.

В литературе [Л. 23] имеются сведения, что во время Крымской войны Якоби была предложена совершенно новая конструкция соединительного прибора. Этот соединительный прибор состоял из резинового колпака, внутри которого был расположен латунный стаканчик, к которому подходил провод от батареи. Внутри стаканчика на стерженьке помещался латунный диск, соединенный с за-

<sup>1</sup> Материалы, содержащие чертежи мин, а также описание их конструкций, выполненное самим Якоби, опубликованы в сборнике «Развитие минного оружия в русском флоте» [Л. 68], куда мы и отсылаем читателя.

палом и другим проводником. При ударе судна о выдающийся над корпусом мины деревянный диск, закрепленный на пружинящих стержнях, происходило перемещение резинового колпака и стаканчика, что приводило к замыканию соединительного прибора.

В процессе разработки подводных мин Якоби в 1847 г. были созданы так называемые телеграфические мины. Для

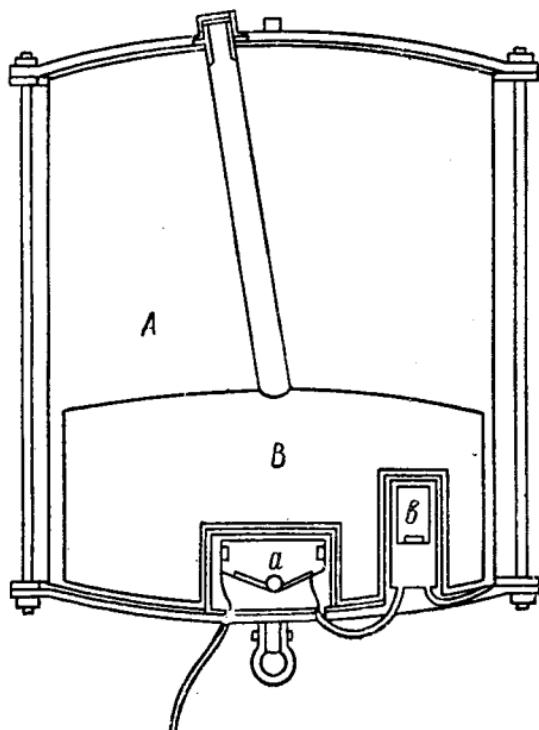


Рис. 42. Конструкция самовоспламеняющейся мины Б. С. Якоби.

исследования точности и надежности действия соединительных приборов, запалов, проводников и пр. Якоби приходилось проводить многочисленные опыты. Кроме того, обращению с минами необходимо было обучать людей. Взрывать каждый раз для этой цели боевые мины было дорого, это было сопряжено с известной опасностью разглашения тайны, а также требовало изготовления большого количества мин.

Имея в виду необходимость устранения перечисленных неудобств, Якоби разработал телеграфические мины, которые выполнялись во всем так же, как боевые, но только

без заряда. Исправность действия всего минного устройства фиксировалась на берегу специально установленными телеграфными аппаратами, дававшими звуковой сигнал колокольчиками. «Таким образом, всякое действие, которое произвело бы прохождение наших судов через наши подводные линии или все разрушительные действия, которым бы подвергался неприятельский флот, осмелившаяся перейти через эти самые линии — все эти действия обнаруживались бы нам не взрывами, а телеграфическими знаками на избранных для того наблюдательных постах», — писал Якоби [Л. 68, стр. 34].

Телеграфические мины сыграли большую роль, позволив свободно экспериментировать с минами в реальных условиях. Сама идея использования «ложной» минной системы, замена одной формы действия электрического тока (взрыв) другой (телефрафные и звуковые сигналы) и ее техническое осуществление являлось оригинальным достижением русского ученого. За границей подобные устройства вошли в практику значительно позже.

Сухопутные мины, созданные Якоби для армии, были как самовоспламеняющиеся, так и «наблюдательные», взрыв которых осуществлялся в тот момент, когда специальный наблюдатель сигнализировал о нахождении противника в заминированной зоне. Соединительные приборы сухопутных мин были в основном ртутные. Та или иная конструкция их применялась в минах в зависимости от обстановки. Якоби считал, что «обстоятельства, при которых вообще соединительные приборы различной конструкции могут быть употреблены в дело, так разнообразны, ... [что] надобно представить изобретательности гальванерного офицера уметь пользоваться местностью и употреблять тот или другой род их» [Л. 1, лист 307].

Несмотря на значительные преимущества самовоспламеняющихся мин в сравнении с «наблюдательными», использование их встречало серьезные трудности. Дело в том, что в ожидании появления неприятеля в минных установках с соединительными приборами в цепь постоянно, в течение весьма длительного времени должна была быть включена гальваническая батарея. Это требовало неустанного надзора за гальваническими батареями для поддержания их в готовности к действию в любой момент, что было крайне сложно.

Ртутные соединительные приборы гальваноударных мин

в полевых условиях войны на Кавказе оказались более неудобными, чем при взрывании подводных мин. От жары трескался деревянный кожух прибора, разливалась ртуть. На местах, в саперных батальонах, пытались усовершенствовать соединительные приборы. Бывший воспитанник Особой учебной гальванической команды Владыкин разработал новую конструкцию соединительного прибора. Якоби одобрил ее, отметив, однако, что прибор Владыкина хорош только в некоторых отдельных случаях, и вопроса в целом не решает. Очевидна была необходимость «сухого» соединительного прибора. Б. С. Якоби сконструи-

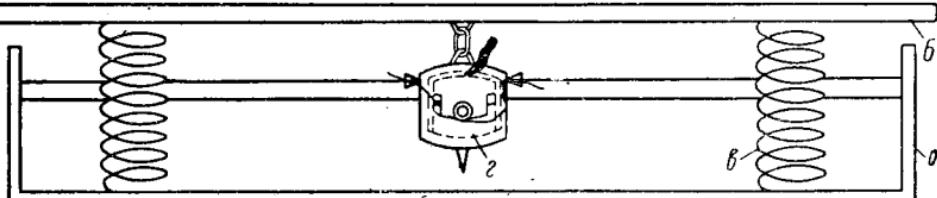


Рис. 43. Схема соединения шарикового соединительного прибора.

ровал несколько образцов таких приборов: соединительный прибор с контактными пластинами, шариковый замыкатель и др.

На рис. 43 показан способ установки шарикового соединительного прибора, считавшегося в армии наиболее удобным. Подобным же образом устанавливались и другие «сухие» соединительные приборы. В углубление в земле закладывался деревянный короб *а* размером примерно  $70 \times 70$  см, с дном, составленным из крестовины. Сверху короб прикрывался дощатой крышкой *б*, опиравшейся на 4 или 6 сильных пружин *в*. К крышке подвешивался соединительный прибор *г* таким образом, чтобы острием не касаться крестовины. От металлических обкладок соединительного прибора провода шли к мине. При наступании ногой на крышку короба она опускалась, соединительный прибор, упираясь острием в дно короба, наклонялся, шар выкатывался из своего углубления и замыках цепь запала.

### Электрические запалы

В первой гальванической мине конструкции Шиллинга в качестве запала для воспламенения пороха были использованы два уголька. В пороховую камеру друг против друга на близком расстоянии помещались угольные стержни.

женьки, подключавшиеся к электрической батареи. При соответствующем напряжении между угольками проскачивала искра, которая и воспламеняла порох.

Якоби писал, что «...барон Шиллинг первый оказал великую услугу, дав уголькам такую форму и устройство, что они могут быть употреблены для этой цели (взрыва мин — М. Б.)» [Л. 1]. Б. С. Якоби дальше развил работы Шиллинга: был усовершенствован способ отжига углей; в зависимости от силы источника питания и дистанции взрыва найдено оптимальное расстояние между угольками, при котором получалась наибольшая искра. Выяснение последнего обстоятельства было решающим для внедрения угольных запалов в эксплуатацию, ибо в противном случае приходилось бы каждый раз отыскивать нужное расстояние, что затрудняло бы использование гальванических мин. Якоби было разработано несколько вариантов устройства угольных запалов. Так, например, запал, примененный Якоби в 1847 г. при опытах над подводными минами в Оранienбауме, представлял собой деревянный ящичек, наполненный порохом, в котором были закреплены угли. Запалы отличались друг от друга конструкцией колодок для установки угольков, формой угольков (конические, цилиндр—конус) и т. п. Улучшения, внесенные Якоби в конструкцию угольного запала, по его словам, «...значительно увеличили верность такого способа воспламенения» [Л. 1].

Якоби в своих минах как подводных, так и полевых в основном употреблял угольные запалы. Над усовершенствованием этих запалов трудился не только он сам, но и офицеры саперных батальонов, бывшие воспитанники Особой учебной гальванической команды.

В 1850 г. Якоби были переданы две конструкции запалов, разработанные командиром 3-го саперного батальона (фамилия неизвестна) и заведующим учебной гальванической командой 2-го саперного батальона прапорщиком Скучаревским. Первый предлагал обтачивать угольные стерженьки в виде цилиндров, а в промежутке между ними укладывать листовое золото, пересыпанное пороховой мякостью. «Способ этот, устранивая затруднительное установление угольков, оказался при произведенных по сие время над ним испытаниях весьма удобоприменимым и надежным», — писал в донесении в Штаб инспектора по инженерной части заведующий Гальванической командой капитан, впоследствии генерал А. Н. Ван-

сович. Поручик Скучаревский предлагал совсем отказаться от углей, а заменить их цинковыми стружками, перемешанными с пороховой мякотью, которые расположить в запале между медными контактами. Это предложение имело свои достоинства и недостатки и требовало дальнейшего изучения. Но важно отметить, что в работу над созданием электрических мин постепенно втягивался все больший круг лиц, что было несомненной заслугой Б. С. Якоби как новатора-изобретателя и как педагога, воспитавшего первых русских гальванеров.

Б. С. Якоби был изобретен платиновый запал, в котором для воспламенения пороха использовалось тепловое действие тока. Для этой цели употреблялась весьма тонкая платиновая проволока («тонкости волоса») длиной около 1 см и с помощью специального приспособления, состоявшего из деревянного патрона и двух медных проволочек, включалась в электрическую цепь. При прохождении тока проволока накаливалась, что вызывало взрыв порохового заряда. Идея очень проста. Но Якоби был первым, предложившим использовать это явление для взрывания мин. Публикация этого изобретения Якоби осуществлена нигде не была из-за секретности работ по минному оружию. Несмотря на простоту принципа конструкции, практическое осуществление платиновых запалов встретило много затруднений. Платиновые проволочки раскалялись докрасна при предварительных опытах, но, будучи помещены в корпус мины, не всегда производили воспламенение зарядов. Этот недостаток был частично преодолен тем, что Якоби стал на середине платиновой проволоки укладывать зерна легко взрывающегося гремучего пороха, но и при этом оказалось, что расстояние, с которого могла быть раскаlena проволока током от обычно употребляемых батарей, составляла не больше 320 м (150 саж.). При дальнейшем увеличении расстояния необходимо было значительно усиливать гальванические батареи, чтобы увеличить силу тока. Применяя мощный источник питания, Якоби смог в 1845 г. воспламенить мины платиновыми запалами на расстоянии около 3,2 км, что до этого считалось невозможным. Конструктивно платиновые запалы были выполнены в виде жестяных патронов, заполненных порохом; внутри помещалась платиновая проволочка. Запалы эти получили сравнительно небольшое применение, так как для их питания требовалась достаточно большая сила тока (не менее 1 а). Якоби рекомендовал ис-

пользовать платиновые запалы при минных системах, расположенных на небольшом расстоянии от обороняемого места.

Как можно понять, основное достоинство платиновых запалов заключалось в том, что здесь совершенно отпадала необходимость такой операции, как установка угольков на определенном расстоянии друг от друга, что нередко нарушало срабатывание запалов.

Несмотря на то, что Россия была родиной военной электротехники и все время шла впереди в разработке вопросов минного оружия, царская военная бюрократия все оглядывалась на Запад, стремясь найти там помощь авторитетов. На отзыв Якоби посыпалось множество различных предложений и изобретений иностранцев из области военной техники [Л. 1, листы 236, 249, 152]. Все это сопровождалось отнюдь не указанием ознакомиться с заграничными достижениями и учесть их в своей работе. Напротив, совершенно цинично заявлялось, что в случае преимущества заграничных устройств, надо оставить производство аналогичных вещей в России и выписать их из-за границы. В 1842 г. в Россию был приглашен Э. Нобель для испытания его пиротехнической мины и минных переметов. Весьма длительные опыты над нобелевскими изобретениями не дали утешительных результатов, и КОПО, «рассмотрев изобретенный Нобелем новый способ воспламенения подводных мин, ...просмотрел письмо и чертежи, выслушал предварительные личные его объяснения и встретил затруднения к принятию предложения Нобеля *как по несовершенству и опасности в применении способа его к воспламенению подводных мин при обороне портов, так и по значительному требуемому им вознаграждению*» (курсив мой — М. Б.) [Л. 75].

В 1844 г. к Якоби обратилось высшее военное начальство с предложением дать заключение о ценности изобретений по минному оружию, сделанных за границей, с тем, чтобы решить, стоит ли приобретать эти изобретения.

Якоби были проведены тщательные испытания запалов, проводников и батарей, разработанных голландцем майором Маркесом, а также сравнение их с конструкциями, применяемыми в России. Опыты показали очевидное преимущество платиновых запалов Якоби перед железными Маркеса: так, запал Якоби из 30 опытов не воспламенился только один раз, в тех же условиях голландский запал сработал только 8 раз. Проводники Маркеса ока-

зались значительно дороже русских при отсутствии каких-либо преимуществ; батареи также не представляли ничего примечательного. Все это дало основание Б. С. Якоби заявить, что «... за границей эта часть (военная электротехника — М. Б.) ... далеко отстала» [Л. 1, лист 202].

Несомненные достижения Б. С. Якоби в разработке минного оружия, особенно ярко проявившиеся в сравнении с результатами деятельности других изобретателей, были очевидны. В июле 1847 г. состоялось опробование всей системы обороны портов подводными гальваническими минами в присутствии царя и высших сановников. В результате этого последовал приказ о «введении сего средства обороны в Морском ведомстве» [Л. 1, лист 288]. Одновременно Якоби предложили заняться обучением гальванизму особо организованной Учебной команды Морского экипажа. КОПО, разрабатывая мероприятия, необходимые для осуществления этого приказа, отмечал, что «... дело о подводных минах, собственно, в теоретическом отношении доведено до возможного успеха и что дальнейшее усовершенствование... требует практических занятий в большом виде и размёре» [Л. 80].

Работу над подводными минами в большем или меньшем объеме (табл. 8) Б. С. Якоби проводил вплоть до начала Крымской войны, результатом чего явились улучшения как в самих минах, так и в способах их установки и приведения в действие. В 1851 г. Якоби уже смог доложивать, что «... при достаточных средствах, при строгом порядке и при благоприятной погоде не было бы затруднительно в продолжении двух летних дней привести Кронштадтский рейд в оборонительное положение и сделать его недоступным для неприятельских судов» [Л. 68, стр. 51].

Осенью 1853 г. войной с Турцией началась Крымская кампания. Минному оружию, впервые широко употребленному Россией, предстояло испытать свою боевую мощь. Минные заграждения под руководством Якоби были установлены на Кронштадтском рейде: в 1854 г. 165 мин и в 1855 г. 300 мин. Кроме того, русскими гальванерами В. Г. Сергеевым, Д. К. Зацепиным, Н. П. Патриком и М. М. Боресковым минная оборона была организована у Свеаборга, Ревеля, Усть-Двинска, на Дунае, Буге, в Керченском проливе. Подготовка материальной части минного оружия осуществлялась на местах в военных подразделениях. Для Кронштадтского района изготовле-

ние всех мин и необходимого оборудования проводилось под личным надзором Б. С. Якоби в мастерской Особой учебной гальванической команды.

Подводное минное оружие, не принеся значительного материального урона неприятелю (на минах, установленных в Кронштадте, подорвались три английских корабля), сыграло огромную роль, сковав действия союзнического флота. О большом впечатлении, произведенном за границей русскими подводными минами, можно судить по откликам зарубежной печати на события минной войны 1854—1855 гг. [Л. 68, стр. 88—91, 104].

Проверка на деле боевых качеств мин Якоби показала, что они являются мощным средством обороны, но для широко практического внедрения нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

Некоторые изменения в минных устройствах в процессе кампании были сделаны самим Якоби, о чем мы говорили выше. Однако последующее развитие подводных мин было связано уже с работой молодого поколения русских военных и морских инженеров А. П. Давыдова, М. М. Борескова и др.

Б. С. Якоби сделал большое и трудное дело. Продолжая работы П. Л. Шиллинга, он создал основы теории и практики электроминного оружия, первый применил его в военных операциях. Изобретенные им гальваноударные мины прочно вошли в практику как эффективное средство обороны, сохранив до настоящего времени все принципиальные черты, приданые им изобретателем. Современные гальваноударные мины отличаются от мин Якоби только расположением источника тока: он помещается в корпусе самой мины, а не на берегу, как у Якоби.

В 1872 г., оценивая свою деятельность, Якоби писал: «Прочие державы начали серьезно заниматься гальваническими минами только в последнее время, но можно смело утверждать, что несмотря на израсходованные ими на этот предмет значительные средства, они не достигли еще тех, вполне удовлетворительных практических результатов, которыми Россия пользуется уже 25 лет» (курсив мой — М. Б.) [Л. 101].

Работая над минными установками, Якоби обогатил электротехнику многими идеями и изобретениями, получившими в дальнейшем широкое применение и развитие. Это—

практическое использование теплового действия тока и платиновый запал, повышение первичного напряжения и индукционная катушка, распределитель тока, кабели, однопроводные электрические линии и др.).

## *Введение минного оружия в армии*

Работа Якоби в ведомстве генерал-инспектора по инженерной части, предполагавшего ввести на вооружение армии полевые мины, также началась с создания гальванических батарей и другого электротехнического оборудования, а позже переросла в деятельность, большую как по масштабам, так и по значению для последующего развития военной электротехники в русской армии.

Разработка минного оружия для сухопутных частей была поручена Б. С. Якоби в 1840 г. Одновременно последовал приказ об образовании Учебной гальванической команды, в которой под руководством Якоби офицеры саперных батальонов должны были изучать теорию и практику гальванизма, а также осваивать материальную часть мин. В казематах Петропавловской крепости были оборудованы мастерская и лаборатория. Для работы были отпущены некоторые материальные средства, а также выделен технический персонал (механик, токарь).

В 1848 г. в связи с увеличением числа слушателей Гальванической команды за счет присоединения Морской учебной команды, а также расширения общего объема работы над минным оружием (морским и сухопутным), мастерская была переведена в другое помещение (в доме Якоби на Васильевском острове), переоборудована и расширена. Она использовалась как для учебных занятий, так и для изготовления гальванических батарей, проводников, запалов, соединительных приборов, электромагнитных телеграфов для воинских частей и т. п. Здесь же началось производство полевых мин для саперных батальонов. Таким образом, в руки Б. С. Якоби было передано все дело создания гальванических мин и подготовки кадров русских военных гальванеров.

Как явствует из имеющихся документов, широкие опыты с полевыми минами начались только после 1846 г. В период 1840—1846 гг. продолжалось начатое еще П. Л. Шиллингом конструирование и испытание полевых мин, а также выработка тактики их применения. В 1846 г. в программе опытов над «полевыми сверлеными» минами [Л. 1, лист 285] уже предусматриваются летние занятия

саперного подразделения для изучения техники установки мин, использования их для обороны и других военных операций. Вероятно, учение прошло успешно, обнаружило как хорошее действие самих мин, так и умение солдат обращаться с ними, ибо испытания полевых мин в июне 1846 г. были проведены в присутствии генерал-инспектора по инженерной части, а в сентябре 1846 г. показаны царю.

Как известно, в 40-х годах XIX в. все еще шла война царского самодержавия на Кавказе за окончательное его присоединение к России. Война в значительной мере носила позиционный характер; военные действия в основном заключались в экспедициях русских отрядов, в отражении набегов горцев. В полевых гальванических минах, совершенно новом и неизвестном тогда оружии, правительство увидело средство усиления обороны военных укреплений на Кавказе. Было решено снабдить минами сначала два саперных батальона — Кавказский и 3-й саперный.

По предложению Якоби для них были изготовлены мины с угольными и платиновыми запалами и ртутные соединительные приборы. Источниками тока служили батареи элементов Грове с индукционными аппаратами и электромагнитные генераторы. Все перечисленные предметы изготавливались под личным наблюдением Якоби в мастерской Учебной гальванической команды. Проводники с резиновой и гуттаперчевой изоляцией были заказаны петербургскому предпринимателю Кирштену, а испытывались в Гальванической команде. Кроме того, в каждом саперном батальоне полагалось иметь для проведения необходимых электрических измерений буссоль с мультипликатором, а также некоторый запас резины, гуттаперчи, раствора каучука, кислот.

Якоби вынужден был заниматься не только подготовкой материальной части гальванических мин. На него была возложена разработка способа удобной перевозки минного оборудования, проектирование и испытание «вьючных сундуков», сбруи и прочих транспортных приспособлений, т. е. разработка всего комплекса вопросов, связанных с введением минного оружия. В течение двух месяцев все потребные вещи были подготовлены и после осмотра и утверждения генерал-инспектором по инженерной части отправлены во Владикавказ, в действующую армию.

В это же время, т. е. в апреле 1848 г., состоялось решение о вооружении гальваническими минами семи других саперных батальонов, переведенных тогда на военное положение.

В октябре 1848 г. было приказано снабдить гальваническими полевыми минами форты Черноморской береговой линии. Перед этим подобные мины были установлены в двух фортах — Головинском и Навагинском. Эффективность нового оружия, испытанного в действии, заставила главнокомандующего Отдельным Кавказским корпусом обратиться к царю с предложением вооружить гальваническими минами остальные укрепленные точки кавказского района.

Саперные батальоны и форты получили гальванические полевые мины и все необходимое к ним в начале 1849 г. Состав оборудования был определен по представленному Якоби проекту. Номенклатура осталась та же, что для Кавказского и 3-го саперного батальонов; некоторая разница была лишь в количестве тех или иных предметов.

По изготовлении всего комплекта минного оружия Якоби составил «Руководство к воспламенению пороха посредством гальванизма» и представил командованию соображения о мерах, которые необходимо предпринять для обеспечения правильного использования нового оружия. Эти меры по сути дела сводились к организации гальванических подразделений в саперных батальонах, которые одновременно являлись бы и учебными гальваническими командами. Якоби предлагал, чтобы в каждом саперном батальоне на первый случай были собраны команды из офицеров и солдат, которые до того обучались в Особой учебной гальванической команде, «... для указания им цели и (способа) употребления вновь привезенных приборов. По прошествии же года распустить эти команды и для заменения могущей случиться убыли ежегодно к 1 июля собирать в каждом батальоне новые команды в составе 1 обер-офицера с батальона, 1 унтер-офицера и 2-х рядовых с роты» [Л. 1, лист 429].

Для осуществления периодического контроля за состоянием материальной части минного оружия и для проверки степени подготовленности личного состава предлагалось ежегодно назначать «сведущих людей» для проверки гальванических команд саперных батальонов.

Предложения Якоби были полностью приняты, и на

основании их 24 февраля 1849 г. был издан приказ «О порядке снабжения саперных батальонов гальваническими средствами и обучения людей» [Л. 1, лист 38]. В 1850 г. заведующий Особой учебной гальванической командой капитан Вансович уже производил инспекторский объезд саперных батальонов для ознакомления с состоянием гальванических команд на местах.

В 1849 г. Якоби силами своей мастерской при Особой учебной гальванической команде пришлось провести значительную работу по изготовлению комплектов минного оружия еще на пять саперных батальонов<sup>1</sup>—для 6-го саперного батальона и для полевого Инженерного парка, который должен был быть снабжен «гальваническими снарядами в количестве, которое полагается четырем саперным батальонам с тем, чтобы в случае убыли означенных снарядов в сих последних батальонах они пополнялись оными из парка» [Л. 1, лист 98].

Сухопутные гальванические мины Якоби получили значительное применение при различных военных операциях на Кавказе, а также в Крымской войне. В период 1847—1852 гг. под руководством воспитанников Особой учебной гальванической команды поручиков Владыкина, Проскурякова, Бреннера, Кузнецова и др., штабс-капитанов Тотлебена и Орловского было осуществлено взрывание гальваническими минами при взятии аулов горцев—Салты, Чох, Гергибиль, при экспедиции в Малую Чечню и др., при обороне укрепленных позиций русской армии, причем новое оружие повсюду наводило ужас и панику на неприятеля. Взрывы гальваническими минами применялись и для военно-саперных работ и т. п.

Во время Крымской войны, кроме устройства минных заграждений на море, с помощью гальванических мин была организована оборона ряда укрепленных крепостей—Новогеоргиевской, Варшавской, Александровской, Брест-Литовской и др.

Гальванические мины нашли себе применение и в наступательных операциях, например в 1854 г. при осаде крепости Силистрии (под руководством поручика Малковского). Применялись мины и при обороне Севастополя (подполковник Тотлебен), для взрыва мостов и военных дорог в Карпатах, в Трансильвании и Буковине.

<sup>1</sup> До этого гальваническими минами были вооружены Лейб-гвардейский и Гренадерский батальоны и 1, 2, 3, 4, 5-й Саперные батальоны.

Минные оборонительные линии были также подготовлены в горах Южного Крыма.

Все вышеприведенные материалы о работе Якоби по внедрению минного оружия в сухопутных войсках показывают, что при его непосредственном участии новый вид оружия — полевые гальванические мины — получил широкое распространение в русской армии и был применен в действующих частях. Якоби не только решил многие технические задачи создания полевых мин, но и рекомендовал схему организации вооружения саперных батальонов, составил план оборудования каждого батальона минами, который и был принят к исполнению. Б. С. Якоби явился инициатором образования гальванических команд в саперных батальонах.

Особо следует остановиться на роли Якоби в организации в России производства электротехнического оборудования. На базе Особой учебной гальванической команды Б. С. Якоби по сути дела было развернуто достаточно крупное по своим масштабам электротехническое предприятие. О производительности мастерских Команды свидетельствует, например, тот факт, что в течение менее чем одного года (1848—1849 гг.) под руководством Якоби было подготовлено электротехническое оборудование для пяти саперных батальонов и для черноморских фортов. Это значит, что за это время было построено свыше 10 электромагнитных генераторов, около 15 индукционных катушек с прерывателями, большое количество гальванических элементов, запалов, соединительных приборов и т. п. Кроме того, в этот период не прекращалось снабжение электротехническими приборами морского флота, а также производство измерительных приборов и оборудования для электрического телеграфа.

Кроме выполнения заказов, непосредственно связанных с проводимыми Б. С. Якоби работами, мастерская изготавливалась электротехническое оборудование для других организаций, например Артиллерийского департамента Морского министерства.

При выполнении этих работ Якоби приходилось не только продумывать конструктивную сторону, но и разрабатывать технологию производства, которую заимствовать было неоткуда. Большие заботы доставляла организационная часть дела — связь с поставщиками сырья, производителями отдельных изделий (например, проволоки, фарфоровых стаканов для гальванических батарей и т. д.).

В мастерской было также налажено испытание готовой продукции. Особенные хлопоты, как неоднократно отмечал ученый, доставляло испытание проводников.

Персонал мастерской формировался в основном из прикомандированных к Учебной команде солдат и матросов. Но были здесь также и вольнонаемные лица — квалифицированные механики и офицеры Учебной гальванической команды. Интересно отметить, что в мастерской под руководством Б. С. Якоби начинал свою деятельность В. С. Пятов, прославившийся впоследствии изобретениями в области металлургии, в частности, разработкой высокопроизводительного способа производства броневых плит; работал у Якоби механик В. Яхтман, сконструировавший оригинальную пиротехническую мину, которая была применена в 1863 г. для обороны Балтийского побережья.

Мастерская Якоби представляла крупное и достаточно хорошо организованное предприятие по производству электротехнического оборудования, субсидируемое государством. По масштабу работ, по многообразию выпускаемых предметов деятельность мастерской далеко выходила за пределы своего скромного названия. Это было по сути дела первое электротехническое предприятие в России.

В свете этого Б. С. Якоби представляется нам не только ученым-электротехником, но и организатором и зачинателем русской электропромышленности. Якоби не хотел пользоваться возможностью получения из-за границы оборудования и материалов, считая, что вся техника может и должна производиться на месте, в России.

В конце своей жизни Якоби имел все основания заявить, что он «... успокоен в сознании, что на пути к предположенной цели он, со своей стороны, насколько это могло быть достигнуто единичными усилиями одного человека, сделал все, что мог, чтобы при всех своих научных работах в России пользоваться исключительно местными средствами и материалами, избегая по отношению к физико-техническим производствам зависимости от иностранных предпринимателей» [Л. 101].

Правители России не оценили в должной мере патриотической деятельности Якоби. За формальной поддержкой, выражавшейся в отпуске средств, материалов и т. п., скрывалось равнодушие к судьбе дела, неверие в его успех. Вместо того, чтобы помогать Якоби развивать и совершенствовать начатое им дело создания отечественной

электропромышленности, высшие сановники смотрели на его работы как на временное, достаточно хлопотное явление, ожидая того момента, когда производство всего оборудования можно будет передать за границу.

Но если при общении с большинством официальных высокопоставленных лиц Якоби столкнулся с холодностью и безразличием к проводимой им работе, то со стороны простых русских людей — офицеров и солдат, работавших с ним в Учебной гальванической команде — ученый встретил горячую помощь, понимание и поддержку. Русские люди, талантливые, изобретательные и способные к техническому творчеству, не только помогли Якоби, но и обеспечили успех его начинаниям.

## *Подготовка кадров русских военных гальванеров*

Внедрение новой техники в войсках было возможно только при наличии специально подготовленных людей, умеющих обращаться с электротехническими устройствами. Поэтому к подготовке кадров военных гальванеров обратились еще в самом начале работ над минным оружием. Организационно это вылилось в создание Особой учебной гальванической команды из офицеров-саперов, к которой в 1847 г., после решения о введении гальванических мин на вооружение флота, присоединилась и Учебная команда Морского ведомства, составленная из выпускников Учебного морского рабочего экипажа. Обучение проводилось сначала только лично Б. С. Якоби, который приступил к преподаванию в марте 1840 г., а позже с помощью подготовленных им офицеров (Васильев, Вансович, Чечель, Егоров, Патрик). Личный состав гальванической команды был переменный, в количественном отношении он колебался от 12 до 22 чел. Из саперных батальонов сроком на один год в обучение к Якоби прикомандировывались офицеры и солдаты, которые должны были пройти здесь курс теории «гальванизма» и практически освоить материальную часть минного оружия, способы действия им, а также научиться ремонтировать и изготавливать отдельные запасные части. Лекции читал сам Якоби. Практическую подготовку слушатели получали как во время занятий в мастерской и лаборатории, так и участвуя в опытах и испытаниях мин, источников тока, проводников и т. п.

Якоби была разработана программа практических занятий и лекций. С 1849 г. его курс прикладной электро-

техники был введен для воспитанников выпускного класса кондукторской роты Главного инженерного училища. Программа лекций Якоби, читанных в феврале — марте 1849 г., сохранилась [Л. 1]. Она свидетельствует о большом круге вопросов электротехники, который преподносился слушателям. Интересна эта программа еще и потому, что она отражает содержание первого в России курса прикладной электротехники. Ниже мы приводим ее.

«Программа лекций о гальванизме, предположенных к чтению в течение февраля и марта месяца 1849 г. гг. офицерам и кондукторам верхнего класса Главного инженерного училища.

1 лекция — Теория и устройство различных гальванических батарей.

2 лекция — Разнородные действия гальванического тока. Разложение воды и образование гремучего воздуха. Раскаливание проволок, расплавление платины и других металлов. Раскаливание углей и освещение ими.

3 лекция — Электромагнитное действие гальванического тока. Возбуждение магнетизма посредством гальванического тока. Магнитоэлектричество и термоэлектричество.

4 лекция — Объяснение устройства магнито-электрических батарей и индукционных приборов.

5 лекция — Применение гальванизма к воспламенению пороха и к телеграфам».

Как очевидно из программы, для своего времени она охватывала все основные вопросы электротехники.

Работа, проводимая Якоби по подготовке кадров русских гальванеров, имела огромное значение. Во все концы страны — на Кавказ, в Варшаву, Киев и другие места разъезжались обученные в учебной команде офицеры, продолжавшие у себя на местах работу по внедрению электротехники в армии. Среди учеников Б. С. Якоби было много таких, как поручики Нестеров и Корсаков, подпоручик Рустецкий, которые, как писал учений, «...во все время нахождения их при команде постоянно обращали на себя мое особенное внимание как прилежанием, так и отличными успехами в преподаваемой им науке» [Л. 1]. Ряд воспитанников Якоби стали впоследствии крупными военными деятелями.

Как известно, из Особой учебной гальванической команды впоследствии выросло Техническое гальваническое заведение, долгие годы бывшее единственным электротех-

ническим училищем в России и имевшее большое значение для воспитания русских военных электротехников.

Таким образом, имеются все основания считать, что Особая учебная гальваническая команда, руководимая Б. С. Якоби, явилась родоначальницей военной электротехнической школы в России. Сыграв в свое время, при зарождении военной электротехники, большую роль, она послужила основой, на которой впоследствии выросла русская высшая военная электротехническая школа.

---

## *Глава пятая*

# *Некоторые работы Б. С. Якоби по электрохимии*

Деятельность Якоби в области электрохимии в основном связана с разработкой химических источников тока — гальванических элементов и гальванопластикой.

## *Гальванические элементы*

В течение первой половины XIX в. наиболее распространенным источником электрического тока были гальванические элементы, развившиеся из вольтова столба и чашечной батареи Вольта. Первые гальванические элементы представляли собой сосуд с электролитом — обычно подкисленная вода, с погруженными в него двумя электродами — медным и цинковым. Для длительного использования такой элемент был непригоден, ибо со временем вследствие поляризации уменьшалась его э. д. с. Кроме того, цинковая пластина, часто имевшая примеси других металлов, быстро растворялась в кислоте даже при разомкнутой цепи, так как при погружении ее в электролит возникали местные токи.

Стремясь улучшить действие вольтова столба, еще Г. Деви пытался создать гальванические элементы с двумя жидкостями. Однако его попытка успехом не увенчалась, так как ему не удалось рационально решить задачу разделения жидкостей и приведения их в контакт.

Несколько усовершенствовали вольтов столб В. Волластон и В. Крейкшенк. В элементе Волластона в качестве электродов и электролита брались все те же медь, цинк и подкисленная вода, но конструктивное выполнение, приданное Волластоном элементу, имело преимущество перед вольтовым столбом и элементом Крейкшенка: цинковая пластина была обложена U-образной свернутой медной

пластиной, и обе они были полностью погружены в сосуд с электролитом. Такая батарея давала больший ток, чем вольтов столб, и была распространена в течение ряда лет.

В 1820-х годах было обнаружено, что причина быстрого снижения э. д. с. гальванических батарей кроется в явлении поляризации. А. Беккерель на основе разработанной им теории поляризации<sup>1</sup> построил ряд элементов с двумя жидкостями. В частности, в 1829 г. он предложил комбинацию сульфата меди с нейтральным соляным раствором, а в 1835 г.—гальванический элемент, составленный из концентрированных растворов азотной кислоты и едкого кали и погруженных в них двух платиновых электродов. С 1830 г. стал известен способ предохранения цинковых пластин путем амальгамирования от растворения в результате химических реакций.

Таково было положение с источниками электрического тока, когда Б. С. Якоби начал работать над электрическим двигателем. Гальванические элементы, достаточно широко используемые в то время при лабораторных исследованиях, были мало пригодны для практических установок.

П. Л. Шиллинг, первым приступивший к разработке практических применений электричества, с самого начала вынужден был заняться усовершенствованием вольтова столба. Однако гальванические мины и особенно телеграф требовали небольших мощностей, и, кроме того, электроэнергия потреблялась не постоянно, а в виде кратковременных импульсов. Перед Б. С. Якоби же стояла задача обеспечить питание такой энергоемкой установки, как электродвигатель, который к тому же должен был работать длительные промежутки времени.

Поэтому одновременно с усовершенствованием двигателя Якоби занимался и гальваническими элементами. Наиболее распространенными вследствие дешевизны и большего постоянства действия были в то время медно-цинковые элементы. С них и начал Якоби. Элементы, которые он употреблял вначале, состояли из медных сосудов и помещенных внутри них цинковых пластин. Для предупреждения контакта между медью и цинком были предусмотрены деревянные прокладки. Электролитом слу-

<sup>1</sup> По теории Беккереля для уничтожения поляризации необходимо было добиться, чтобы в самом элементе осуществлялась химическая реакция, при которой происходило бы поглощение газов, выделяющихся на пластинах.

жил водный раствор серной кислоты. Ученый много труждался над усовершенствованием этих элементов: экспериментировал с различной формой электродов, их взаимным расположением и т. п. Но основного порока преодолеть не мог. Нормальное действие элемента продолжалось очень короткое время.

Б. С. Якоби изучал свойства амальгамированного цинка с точки зрения использования его в гальванической паре. Сравнительные измерения силы тока от двух одинаковых гальванических элементов, но имеющих один простую, а другой — покрытую амальгамой цинковые пластинки, показали, что во втором случае ток более постоянен, хотя все же имеет тенденцию к падению: в течение примерно 2 ч сила тока уменьшалась от 61—62 до 57—55 относительных единиц. При неамальгамированной пластине сила тока сначала равнялась  $55\frac{1}{2}$ , спустя 43 мин уменьшилась до 12, а через  $1\frac{3}{4}$  ч цинковая пластина оказывалась полностью растворенной в кислоте. Действие батареи с электродом из цинка, покрытого амальгамой, продолжалось около трех дней, после чего пластина распалась, так как амальгамированный цинк оказался хрупким.

Применение элемента с амальгамированным цинковым электродом несколько улучшило работу электродвигательной установки. В «Заметках» в 1835 г. Якоби писал, что после многих опытов он добился постоянства э. д. с. батареи в течение 20—24 ч. Это было достижением, так как раньше, по свидетельству ученого, действие гальванических элементов очень быстро ослабевало и вовсе прекращалось примерно через час.

Острая необходимость создать пригодный для питания двигателя источник энергии заставляет Якоби не только много экспериментировать, но и глубоко продумывать суть процессов, имеющих место в гальванических элементах. Понимание физики явлений должно было облегчить ему разработку конструкций гальванического элемента. В «Гальванопластике» (1840 г.) Якоби в первых пяти параграфах подробно описывает механизм действия гальванических элементов, способы их построения и использования в электрических цепях. Здесь, в частности, он дает анализ явлений в гальваническом элементе с одним электролитом и с амальгамированной цинковой пластиной: «Если в сосуд, наполненный водой, смешанной с какой-нибудь слабой кислотой, например, серной или соляной, опустить цинко-

вую пластинку, то она будет более или менее растворяться и притом с отделением водородного газа... Если цинковую пластинку... [нарутить и]... потом погрузить в вышеозначеный сосуд с разведенной кислотой, то кислота на нее почти совсем не действует, и она может довольно долго оставаться в ней без приметного уменьшения в весе». Б. С. Якоби отмечает, что действие гальванического тока «...находится в точнейшем отношении с количеством водорода, отделяющегося у медной пластинки. Количество же водорода, отделяющегося у цинка, несколько не служит к увеличению гальванической силы; напротив того, оно еще некоторым образом ослабляет эту силу» [Л. 100, § 1]. Дальнейший анализ<sup>1</sup> приводит Якоби к важному выводу о том, что можно вовсе отказаться от амальгамирования цинковых пластин, если помещать их в нейтральные растворы, например, растворы поваренной и глауберовой солей, нашатыря.

В 1836 г. было опубликовано сообщение английского ученого Д. Ф. Даниэля о построенном им медно-цинковом элементе, в котором поляризация уменьшалась применением двух электролитов. Медная пластина погружалась в раствор медного купороса, цинковая — в раствор серной кислоты. «Настоящее поколение,— вспоминал Якоби в 1867 г.,— не может вообразить себе, с какими трудностями приходилось нам тогда бороться в тех случаях, когда требовался сколько-нибудь неизменный ток. Поэтому понятно, с каким восторгом встречен был всеми учеными, занимающимися гальванизмом, перегородчатый элемент Даниэля, который вследствие этого сам явился предметом исследования».

Естественно, что Якоби, сам много в то время занимавшийся гальваническими элементами, обратился к изучению элемента Даниэля. В феврале 1837 г. в письме к Э. Х. Ленцу, которое было зачитано на заседании Петербургской академии наук, Якоби сообщил об изобретенной им конструкции гальванического элемента.

Собственные исследования Якоби по гальваническим элементам помогли ему пойти дальше Даниэля. Впервые установив, что кислота у отрицательного полюса не является необходимой для электрохимического процесса в гальваническом элементе, он предложил в своем элементе использовать для цинковой пластины не серную ки-

<sup>1</sup> Подробнее об этом см. статью А. Н. Фрумкина [Л. 97].

слоту, а раствор нашатыря, и сделал ряд оригинальных конструктивных приспособлений, которые, по мысли изобретателя, должны были обеспечить продолжительное действие и достаточно постоянную э. д. с. элемента. Элемент Якоби (рис. 44) представлял собой следующее устройство: в медном цилиндрическом сосуде 1 на стеклянных

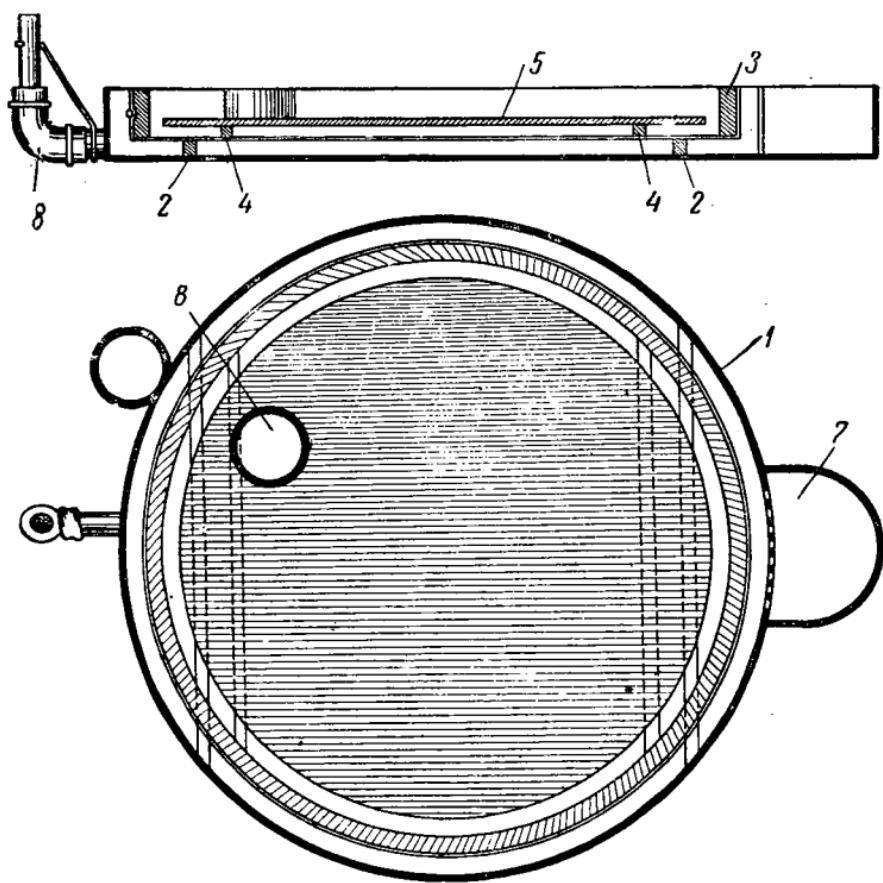


Рис. 44. Гальванический элемент конструкции Б. С. Якоби.

палочках 2 устанавливался деревянный цилиндр 3, дно которого обтягивалось пузырем. На стеклянных палочках 4 внутри деревянного цилиндра помещалась цинковая пластина 5 с припаянным к ней цилиндриком 6 со ртутью. В медный сосуд наливался раствор медного купороса, а в деревянный — слабый раствор нашатырного спирта. Сосуд 7, припаянный к 1 и отделенный от него решеткой, служил для поддержания раствора медного купороса в на-

сыщенным состояний. В него насыпались кристаллы медного купороса. По мере выделения меди из раствора медного купороса происходило растворение кусочков медного купороса из ящика 7, в который через отверстия свободно проходили верхние, как раз наименее насыщенные слои электролита. Такое приспособление исключало необходимость постоянного наблюдения за концентрацией раствора и облегчало поддержание постоянства концентрации; 8 — трубка, через которую выливалась жидкость.

Весьма сложным оказалось устройство перегородки, и Якоби пришлось уделить этому много времени. Перегородка между двумя электролитами, будучи сама совершенно неразрушаема от действия кислот, должна была обеспечить свободное прохождение электрического тока и полную несмешиваемость жидкостей. Пузырь, который Якоби употреблял вначале, оказался неподходящим для этой цели, так как кристаллы солей забивали поры и препятствовали прохождению тока. Опыты, проведенные в 1838 г., показали, что хорошим материалом для перегородок является пористая слабо обожженная глина. «Комиссия по приложению электромагнетизма к движению судов» отмечала, что применение таких перегородок является шагом вперед.

Новая конструкция элемента с двумя электролитами в сравнении с тем, что имел Якоби в 1834—1836 гг., казалось, давала большие надежды на успех в осуществлении электродвигательного устройства. Он начал думать над экономической стороной работы гальванических батарей и пришел к выводу, что образующийся в результате электрохимических процессов насыщенный раствор цинкового купороса может быть с выгодой использован для различных технических целей (в красильном производстве, например). Эти соображения позволили Якоби заявить в письме Уварову в мае 1837 г., что эксплуатация электродвигателя потребует незначительных средств, так как производство тока не будет почти ничего стоить.

Однако практические испытания двигателя, питающегося от медно-цинковых элементов, показали, что гальванические батареи по-прежнему остаются узким местом. В практических условиях они оказались неприемлемыми. Каждый элемент мог давать ток не больше нескольких сотых ампера. Поэтому батарею приходилось составлять из большого числа элементов. Ее трудно было обслужить, а самое главное — установка была неэкономична. Даль-

нейшая работа Якоби, начиная с весны 1839 г., была связана с изучением платино-цинковой батареи Грове и сравнительными испытаниями ее и медно-цинкового элемента.

Результаты испытания были доложены Академии наук в январе 1840 г. [Л. 97]. С помощью весов Беккереля Якоби замерял силу тока, даваемую элементами при двух одинаковых сопротивлениях нагрузки  $L$ . Э. д. с. элементов обозначалась им соответственно  $A$  и  $A'$ , внутреннее сопротивление на единицу поверхности  $\lambda$  и  $\lambda'$ .

Путем решения уравнений, составленных на основании закона Ома, Якоби получил формулу, дающую зависимость силы тока от параметров батареи:

$$C = \frac{zA}{\frac{z^2\lambda}{s} + L},$$

где  $C$  — сила тока;

$z$  — число элементов;

$s$  — полная поверхность пластин элемента;

$Z$  — внешнее сопротивление.

Из этого уравнения было определено, что максимальный ток от элемента будет получен в том случае, когда внутреннее сопротивление элемента будет равно внешнему, т. е.  $\frac{z^2\lambda}{s} = L$ . Максимальный ток, который мог быть получен от батареи медно-цинковых и платино-цинковых элементов при одинаковом числе элементов в них, определялся соотношением

$$C_{\max} = \frac{A \sqrt{s}}{2\sqrt{\lambda L}} = \frac{A' \sqrt{s'}}{\lambda' L}.$$

В результате подстановки в эту формулу численных значений было установлено, что 6 платино-цинковых элементов, каждый площадью в 1 кв. фут, дадут такой же ток, как 10 медно-цинковых элементов с площадью в 10 кв. футов каждый. Другими словами, платино-цинковый элемент равных размеров с медно-цинковым может дать ток, более чем в 16 раз больший.

Исследования Якоби, показавшие большие преимущества цинково-платиновых батарей, подкрепили уверенность Комиссии в успехе, и председатель ее И. Ф. Крузенштерн в мае 1839 г. писал Уварову, что Комиссия предпо-

лагает начать опыты с двигателем, установленным на большом судне.

При опытах 1839 г. на лодке (вместо 320 медно-цинковых как в 1838 г.) было установлено 64 элемента Грове, которые могли обеспечить получение 1 л. с. Хотя это и был успех, но вместе с тем вставал вопрос, что если от 64 элементов можно получить только 1 л. с., то каких же размеров должна быть батарея, чтобы питать установку с двигателем в 40—50 л. с.? К этому прибавлялись соображения трудности эксплуатации батарей в практических условиях плавания и чрезмерная дороговизна установки.

После различных экспериментов с платино-цинковой батареей для Якоби по сути дела оказались исчерпаны все возможности дальнейшего улучшения электрохимических источников питания для двигателя. Становилось очевидным, что гальванические элементы, по крайней мере в их состоянии на начало 1840-х годов, не годятся для двигательной установки. В 1841 г. Якоби вынужден был констатировать этот факт.<sup>1</sup>

Несмотря на этот очень важный вывод, основанный как на данных практики, так и на результатах работы Якоби по теории электродвигателя, он продолжал все же ориентироваться на гальванические батареи, считая, что все дело в удешевлении их эксплуатации. Он предлагает совмещать гальванические и двигательные установки, чтобы «... от одного и того же атома цинка или железа, при помощи которого вы придаете форму меди, соответствующую художественным требованиям, ... получить определенное количество механической энергии» [Л. 20, стр. 95]. Соли цинка, получающиеся в гальванических батареях, по мнению Якоби, можно было бы попытаться употребить для оцинковывания железа. Если же и такие установки окажутся невыгодными, то следует работать над удешевлением добычи цинка.

Чем можно объяснить, что Якоби так упорно все свои мысли направлял на создание гальванических батарей? Теперь это кажется тем более странным, что является несомненным хорошее знакомство Якоби с электромагнитными генераторами и его осведомленность в вопросе об обратимости электрических машин. Объяснение этому, на наш взгляд, можно найти в следующем.

В конце 1830-х — начале 1840-х годов не было еще серьезных оснований сомневаться в достоинствах гальва-

<sup>1</sup> См. гл. 2.

нических батарей. Только что был сделан важный шаг в усовершенствовании батарей — построены слабо поляризующиеся элементы. Вне лаборатории их качества еще не были испытаны (если не считать телеграфов, где требовались очень небольшие батареи). Якоби первый достаточно широко начал использовать гальванические элементы для целей практики. Неудачи, а равно и успехи, имевшие место вначале, естественно вызвали решение работать над совершенствованием гальванических элементов дальше. В сравнении с электромашинными генераторами гальванические элементы казались экономически более целесообразными: они весьма легко изготавливались, сами по себе были дешевы, сравнительно просты в эксплуатации.

Электромашинные генераторы, хотя и находились тогда в «лабораторном возрасте», могли быть использованы на практике, что в свою очередь дало бы толчок их развитию. Однако в той обстановке, когда мысль о централизованном производстве электроэнергии и передаче ее на расстояние еще и не возникала, выгодная эксплуатация электрогенератора была просто невозможна; так как для каждого генератора надо было ставить свой первичный двигатель. Кроме того, в то время казалось более естественным применять для питания двигателя гальванические элементы, где химическая энергия непосредственно преобразуется в электрическую, чем иметь агрегат: паровой котел — паровая машина — электрический генератор — электродвигатель, где происходят более сложные превращения энергии. В этой обстановке вполне понятно и объяснимо то, что Якоби, как и его современники, в качестве источника тока долго ориентировался на гальванические элементы.

В связи с работой по телеграфии Якоби была создана платиновая контробатарея, конструкция которой была приведена выше (гл. 3). Эта батарея была по сути дела ничем иным, как вторичной батареей — аккумулятором. При протекании тока от основной батареи в контробатарее происходила поляризация платиновых пластин, т. е. зарядка. При отключении основной батареи вторичная батарея отдавала свой заряд в цепь, чем и достигалось уменьшение заряда линии. На платиновых электродах можно было накопить сравнительно незначительный заряд. В этом смысле она вполне отвечала целям, для которых создавалась. В последние годы своей жизни Якоби вновь обратился к аккумулятору, предложив использовать его для питания

электродвигателя [Л. 97, стр. 185—191]. Платиновые пластины он заменил «по предложению г. Планте из Парижа» свинцовыми, что значительно повысило емкость аккумулятора. Однако для зарядки аккумулятора Якоби использовал гальванические элементы.

## *Изобретение гальванопластики*

Химическое действие тока, проявляющееся в разложении сложных веществ на составные части, в осаждении металлов из их растворов, стало известно ученым вскоре после создания вольтова столба. Одни за другими последовали опыты по электролизу воды (Карлейль и Никольсон, Риттер, Петров), раствора поваренной соли (Крейкшэнк), причем было обнаружено, что на отрицательном полюсе батареи отлагается едкий натр. В 1801 г. Дезорм описывал опыт с платиновыми проволоками, соединенными с вольтовым столбом и погруженными в раствор азотнокислого серебра. При прохождении тока через этот прибор на проволоке, соединенной с отрицательным полюсом, выделялись кристаллы серебра. В 1802 г. Бруньятelli удалось в результате электролиза соответствующих солей получить кусочки золота, серебра и платины. Подобные опыты с электролизом солей проводил в 1820 г. в России Гrottус, в 1830 г. в Германии — Бах.

Весьма вероятно, что, кроме указанных опубликованных работ, было проведено немало подобных опытов, которые были отражением большого интереса, проявляемого в то время к «гальванизму».

Однако никто из ученых и экспериментаторов, работавших до Якоби, не обратил серьезного внимания на состояние поверхности кристаллов, листочков, отдельных кусочков металла, выделявшихся при электролизе.

История изобретения гальванопластики подробно изложена самим Якоби в 1846 г. в письме к А. Беккерелю [Л. 117] и в публичной лекции, прочитанной во время всемирной выставки в Париже в 1867 г. [Л. 118]. Этого вопроса ученый касался и в своей книге «Гальванопластика» (1840 г.) [Л. 100].

Вкратце история изобретения отражается фактами, сведенными в табл. 9 и известными в основном из высказываний самого Якоби.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что со времени первого наблюдения гальванопластического про-

Таблица 9

## Хронология открытия гальванопластики Б. С. Якоби

Дата	Этап работы
1834—1835 гг.	Наблюдение выделения зерен восстановленной меди в медно-цинковом элементе.
Начало 1837 г.	Получение в медно-цинковом элементе медного осадка в виде сплошного твердого слоя и обнаружение полнейшего сходства поверхности медного полюса батареи и поверхности снятого с него листка восстановившейся меди.
Начало 1837 г.	Снятие гальванопластическим способом копий с монет.
28 марта 1837 г.	Снятие гальванопластической копии с гравированного медного клише (для печатания визитных карточек Якоби)
27 мая 1837 г.	Сообщение о возможности получить на поверхности восстановленной меди точную копию с поверхности электрода.
Осень 1837 г.	Посылка Беккерелю гальванопластической копии с клише визитной карточки.
Период с конца 1837 г. по сентябрь 1838 г.	Совершенствование гальванопластического способа до уровня практического производства.
Сентябрь 1838 г.	Получение совершенно удачной копии с гравированной дощечки.
4 октября 1838 г.	Письмо непременному секретарю Петербургской академии наук П. Н. Фуссу об изобретении гальванопластики с приложением гальванопластических образцов.
5 октября 1838 г.	Сообщение об изобретении Якоби Петербургской академии наук.
15 марта 1840 г.	Решение правительства о покупке изобретения.
17 мая 1840 г.	Присуждение Б. С. Якоби Демидовской премии за изобретение гальванопластики
1867 г.	Присуждение Б. С. Якоби Большой золотой медали и денежной премии за изобретение гальванопластики на всемирной выставке в Париже.

цесса и до дня обнародования Якоби своего изобретения прошло более двух лет. Первые полученные Якоби гальванопластические копии хотя и воспроизводили с замечательной точностью все детали поверхности электрода, однако были только отдельными более или менее удачными пробами. Они позволили Якоби оценить значение подмеченной им способности меди восстанавливаться из раствора не только в виде порошка или зерен, но и в виде сплошных листков, и воспроизводить точную копию поверхности электрода.

Якоби сразу понял, что его открытие заключает в себе громадные возможности для производства с помощью электричества различных копий. Но для того, чтобы можно было говорить о практическом применении электролиза, надо было изучить условия, влияющие на образование медного осадка, научиться управлять процессом — разработать технологию производства. Только после решения этих задач гальванопластика могла превратиться в самостоятельную отрасль электротехники.

В течение двух лет — с 1836 по 1838 г.— Якоби был занят разработкой на основе обнаруженного явления практического способа производства.

Недостаток первых гальванопластических копий в основном заключался в том, что в большинстве случаев было невозможно отделить без повреждения копию от электрода. Кроме этого, очень часто медь получалась рыхлая, хрупкая.

Б. С. Якоби начал систематическую работу над гальванопластикой. Она шла параллельно с работой над электродвигателем, «...но это,— писал изобретатель,— не замедлило бы моего открытия, если бы я не попал на ложную дорогу». Изучая процессы, происходящие при образовании медного осадка, Якоби старался употреблять возможно более сильный ток. Для этого он близко сдвигал медную и цинковую пластины, тщательно очищал поверхности электролов, чтобы уменьшить их сопротивление. Мысль эта была естественной, ибо гальванопластическое отложение получалось при протекании тока: чем сильнее ток, тем, казалось, больше и лучше должен быть осадок. К тому же на примере работы с электродвигателем Якоби видел, какое важное значение имеет величина тока в электротехнических устройствах. Было проведено огромное количество опытов, прежде чем он убедился в ошибочности избранного направления и нашел условия, при которых можно было получать хорошие копии. Этими условиями были: 1) небольшая величина тока, что обеспечивало образование плотного слоя меди с ровной поверхностью<sup>1</sup>, 2) наличие на поверхности электрода жирового слоя, который не допускал сращивания восстановившейся меди с электродом.

Только тогда, когда Якоби получил первые вполне

<sup>1</sup> При большом токе выделялось значительное количество водорода, который частично скапливался на медной пластине, препятствуя тем самым образованию плотного слоя меди.

удачные результаты и появилась уверенность, что изобретение стало на практическую почву (в связи с выявлением вышеупомянутых условий), он обратился в октябре 1838 г. в Академию наук с сообщением о своем изобретении. В этом сообщении, изложив кратко историю изобретения, Якоби дал описание гальванического аппарата и способа получения копий.

На рис. 45 представлено устройство для получения гальванопластических копий, как его изобразил Якоби в письме к П. Н. Фуссу [Л. 119].

*acdb* — деревянный водонепроницаемый сосуд, разделенный перегородкой *T* из слабообожженной глины;

*Z* — цинковый электрод;

*K* — медная гравированная пластинка, служащая вторым электродом.

В отделение *Z* наливался слабый раствор серной кислоты, в отделение *K* — раствор медного купороса, который постоянно поддерживался в насыщенном состоянии. При соединении пластин проводом *D* начинался электролиз растворов, в результате чего на пластине *K* выделялся слой меди, а цинковая пластина постепенно растворялась. Гальванопластическая копия с гравировальной доски и другие предметы, полученные с помощью подобного устройства, были представлены Якоби в Академию наук, а впоследствии некоторые из них переданы в Эрмитаж<sup>1</sup> и Политехнический музей.

Таким образом, к осени 1838 г. Якоби было полностью завершено изобретение гальванопластики,— он мог вполне свободно получать копии с гравированных досок и прочих плоских предметов, им была разработана технология производства, которая, правда, для широкого промышленного применения была слишком сложна. Для снятия копий сначала надо было гальванопластическим путем изготовить медную форму и уже на нее наращивать медный слой, точно воспроизводящий оригинал. Трудность была и в поддержании раствора медного купороса в насыщенном состоянии. Но наибольшее неудобство происходило от то-

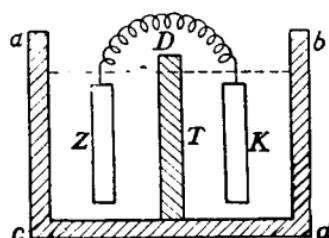


Рис. 45. Установка для снятия гальванопластических копий (октябрь 1838 г.).

<sup>1</sup> Собственноручные гальванопластические изделия Б. С. Якоби хранятся в Ленинградском Эрмитаже по сей день.

го, что перегородка в гальваническом элементе должна была точно повторять очертания копируемого предмета, что было почти невыполнимо при сложных и больших фигурах. Такая сложная перегородка была необходима для того, чтобы все точки на поверхности медного электрода были в одинаковых условиях (в смысле соприкосновения их с раствором медного купороса). При плоской перегородке на выпуклых частях электрода оседало больше меди, чем на вогнутых.

В начале 1839 г. Якоби удалось успешно разрешить задачу создания промышленного способа снятия гальванопластических копий. Он отделил источник питания от гальванопластической ванны, ввел растворимый анод и нашел способ осуществлять осаждение меди на неметаллических формах, покрытых проводящим слоем. Этими усовершенствованиями гальванотехнике были приданы все основные черты, с которыми она, просуществовав более столетия, дошла до наших дней. В этом заключается величайшая заслуга Б. С. Якоби, который не только подметил и использовал явление осаждения металлов при электролизе; но и разработал на его основе промышленный процесс, создав тем самым новую отрасль применения электричества — гальванотехнику.

Поражает тот небольшой срок, в течение которого все это было сделано. Осенью 1838 г. Якоби еще пользовался простым прибором, показанным на рис. 45. Затем ученый создает несколько типов гальванопластических установок, описанных в его книге «Гальванопластика» [Л. 100]. Здесь были электролитические установки с горизонтальным расположением электродов, с глиняным цилиндром (вместо глиняной перегородки) и с тремя электродами. Используя принцип своего медно-цинкового элемента, Якоби сделал гальванопластический аппарат (рис. 46), в котором постоянная концентрация насыщенного раствора поддерживалась благодаря наличию специального сосуда *gh* с кристаллами медного купороса. Однако все эти устройства были этапом на пути к созданию промышленной установки. Как отмечал сам изобретатель, «...довольствуясь одним этим способом (устройством, данным на рис. 46—М. Б.), гальванопластика имела бы весьма ограниченное применение, но я с самого начала обратил все мои старания на распространение этого дела» [Л. 100, § 8]. В конце концов Якоби приходит к идеи отделения гальванопластической ванны от источника тока. Установка (рис. 47) имела сле-

дующее принципиальное устройство. В электролитическую ванну СД, наполненную раствором медного купороса, погружались два медных электроды — *с* и *а*, из которых один — *с* — являлся формой, по которой необходимо было изготовить предмет.

Электрод *а* соединялся с отрицательным полюсом батареи, форма *с* — с положительным. При замыкании цепи осуществлялся электролиз медного купороса. При этом на *с* восстанавливалась медь; пластина *а* постепенно переходила в раствор. Якоби подметил, что в ванне СД сущ-

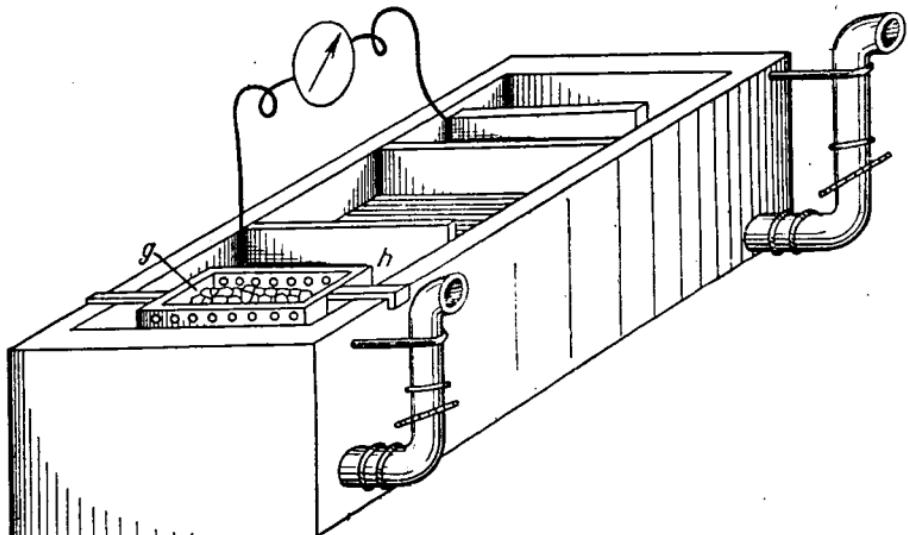


Рис. 46. Одна из гальванопластических установок Б. С. Якоби.

ствует динамическое равновесие: на пластине, связанной с анодом, восстанавливается столько меди, сколько уходит в раствор из пластины, соединенной с катодом.

Какие преимущества давало такое устройство? Во-первых, появлялась возможность снимать гальванопластические копии с предмета любой формы и размеров, что раньше было ограничено как трудностью изготовления перегородки, так и габаритами гальванического элемента; во-вторых, для питания такой установки мог быть применен любой источник тока. Сам Якоби впоследствии, в 1846 г., сделал попытку осуществить питание от электрического генератора. Как известно, гальванотехника получила особенно широкий размах именно после того, как в установках для гальванопластики вместо гальванических элементов стали пользоваться генераторами постоянного тока.

Отделение электролитической ванны от источника тока привело к использованию растворимого анода. Как мы отмечали, в ходе электролиза происходило растворение пластины. Таким образом, в результате электрохимического процесса раствор медного купороса автоматически поддерживался в постоянном насыщении.

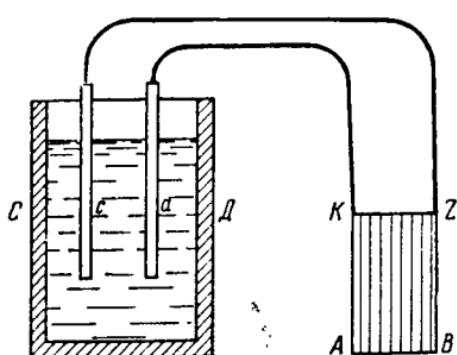


Рис. 47. Гальванопластическая установка с отделенным источником тока.

Якоби серьезно облегчил использование своего изобретения, введя в употребление формы из непроводящих пластических материалов (воск, гипс, стеарин и др.). Использовать такие формы в гальванопластике можно было только в случае придания их поверхности проводящих свойств. В качестве проводящего покрытия Якоби употребил сначала медный порошок. Позже случай привел его к использованию для

этой цели графита<sup>1</sup>, который и получил широкое распространение для покрытия форм, так как мог быть нанесен более тонким слоем, чем медный порошок. Применение неметаллических форм было осуществлено Якоби в первой половине 1839 г., во всяком случае уже в ноябре 1839 г. в письме Уварову ученый сообщал, что он производит гальванопластические копии с восковых и подобных форм. Это усовершенствование значительно удешевило и упростило гальванопластический процесс.

Успехи Якоби в совершенствовании своего изобретения были настолько велики и несомненны, что уже в 1839 г. ему поручили весьма ответственное дело: обеспечить изготовление гравировальных досок для производства новых денежных знаков в связи с осуществлявшейся тогда денежной реформой. Это было первое в мире промышленное применение гальванопластики, показавшее большую выгоду этого способа — быстроту, точность воспроизведения и дешевизну.

<sup>1</sup> Об этом случае ученый рассказывает в лекции в Париже в 1867 г. [Л. 118]. Однажды, производя проверку качества глиняных сосудов, предназначенных для тальванических перегородчатых элементов, Якоби отмечал карандашом годные к употреблению цилиндры. Просматривая батарею после плавания на электроходе, Якоби обнаружил, что карандашные штрихи покрыты слоем меди.

14 февраля 1840 г. Якоби подал заявку в Департамент Мануфактур и Торговли на привилегию на свое изобретение. Однако правительство, убедившись в большой пользе гальванопластики на таком серьезном деле, как печатание денежных знаков, купило изобретение Якоби, поставив ему условием опубликовать технологию гальванопластического процесса.

В середине 1840 г. в Петербурге вышла книга Якоби «Гальванопластика или способ по данным образцам производить медные изделия из медных растворов с помощью гальванизма», которая вскоре была издана в переводах на немецкий и французский языки. В книге на высоком научном уровне и в то же время в общедоступной форме были изложены основные теоретические положения, на которых основывался способ, описаны различные конструкции гальванопластических аппаратов и, наконец, дана полная технология гальванопластического производства медных предметов. Автор указывал, из каких материалов и какой конструкции могут быть сделаны установки для гальванопластики, каким образом следует готовить раствор электролитов, как обеспечить быстрое растворение кристаллов медного купороса (при использовании аппарата, рис. 46), как регулировать и поддерживать необходимую силу тока, как ее измерять и прочие тонкости гальванопластического производства. Книга была рассчитана на широкий круг лиц, желавших заниматься изготовлением гальванопластических копий. Она получила высокую оценку Э. Х. Ленца [Л. 43], дававшего на нее рецензию при рассмотрении в Академии наук вопроса о присуждении Б. С. Якоби Демидовской премии.

Гальванопластика, как это явствует и из заглавия книги, сначала разрабатывалась для снятия медных копий с медных же предметов, и ученый приложил немало усилий, чтобы найти способ без повреждений отделять гальванопластический слой от формы. Но для Якоби не осталось незамеченным и другое свойство гальванопластического осадка меди, а именно: плотно срашиваться с электродом. В письме Фуссу от 4 октября 1838 г. [Л. 119] он обращал внимание на кусок медной пластиинки с плотно приросшим слоем восстановленной из раствора меди и писал, что «...весьма возможно, что подобная пластиинка, пожалуй, представит еще более научного интереса, чем другая, вполне удавшаяся... У первой именно наращенный осадок так плотно соединился с оригинальной медной пластиинкой,

что невозможно разъединить их, и они оказываются в такой плотной связи, какая могла бы иметь место только при спайке». В этих словах была заложена мысль о применении гальванопластики для покрытия поверхностей одних металлов слоями других металлов, т. е. о гальваностегии. Уже в 1839 г. Якоби изготавляет образцы, покрытые гальванически слоем металла, причем не только слоем меди, но и золота, серебра и платины.

В 1840 г. Якоби начал производить гальванопластику различных металлов (золото, серебро, платина). Так, например, собственноручно выполненную им золотую медаль он преподнес в 1840 г. съезду британских естествоиспытателей.

В 1839 г. Якоби впервые были сняты копии с выпуклых форм — с барельефа Ф. Толстого, изображающего сцены из Одиссеи, и с барельефа работы Вернини. В сентябре того же года Якоби изготавлил гальванопластическим способом типографский шрифт. Приведенные факты свидетельствуют о том, что при самом начале развития гальванопластики она трудами ее изобретателя перерастала в гальванотехнику, включающую в себя и получение электролитическим путем изображения предметов (гальванопластика) и покрытие одного металла слоем других (гальваностегия). Одновременно ученым было показано, какие богатые возможности таит в себе новая техника для изобразительного искусства, граверного и типографского дела. Работы Якоби по гальванопластике очень скоро стали широко известны во всем мире, и над развитием и совершенствованием изобретения русского ученого начали трудиться в различных странах.

Изобретение Якоби получило всеобщее признание и высокую оценку. В России Якоби был удостоен Демидовской премии, которой Академия наук отмечала выдающиеся научные работы.

Знаменитые современники Якоби — Фарадей, Эрстед, Беккерель, Берцеллиус, Гумбольдт, Грове, Гофман отклинулись на сообщение Якоби о сделанном им изобретении письмами, в которых выражали свое восхищение, а это, как справедливо отмечал А. А. Ильин в очерке по истории гальванопластики [Л. 27], были такие ученыe, «...которые не стали бы понапрасну расточать похвал». Письма этих ученыx хранятся в архиве Академии наук СССР. Мы не останавливаемся на них подробно, так как в переводе сына Б. С. Якоби — Н. Б. Якоби они опублико-

ваны в «Записках русского технического общества» [Л. 62] и легко доступны.

Русская научная общественность организовала в 1889 г. выставку в честь исполнившегося пятидесятилетия со дня изобретения гальванопластики. В решении об организации этой выставки отмечалось, что «... в истории образованности открытие гальванопластики должно быть приравнено по своему значению к открытию книгопечатания, а для России открытие это имеет еще и другую цену — оно сделано в России, русским ученым, академиком Б. С. Якоби» [Л. 27].

Актом всемирного признания заслуг Якоби в изобретении гальванопластики явилось награждение ученого первой премией и Большой золотой медалью на Парижской всемирной выставке 1867 г. Этим актом также был положен конец притязаниям разных лиц на первенство в этом изобретении.

Изобретение гальванопластики получило широкое освещение в русской и иностранной печати. В таких журналах, как «Отечественные записки», «Журнал Министерства народного просвещения», «Библиотека для чтения», газете «Посредник» и др. в течение ряда лет основной темой разделов «Наука», «Ученые известия» и т. п. были сообщения об успехах и развитии гальванотехники. Гальванопластические занятия стали модой. «Отечественные записки» в 1844 г. (том 35, отдел V) писали: «У нас в Петербурге первонациально все с жадностью набросились на гальванопластические опыты». Во Франции нравы капиталистического общества дали себя знать еще при первых шагах изобретения. В 1838 г., когда толком о сущности гальванопластики знали немногие лица, ловкие дельцы распространили слухи о необычайной дешевизне производства по новому способу так называемого «гальванизированного железа». «Это таинственное название гремело во Франции в прошедшем году, — писал корреспондент «Отечественных записок» (1839 г., том 3, отдел 8), — было причиной компаний на акциях и дало повод к многим самым разорительным покупкам этих акций».

Чем можно объяснить такой повышенный интерес современников Якоби к изобретению гальванопластики?

Прежде всего тем, что гальванопластика явилась первым производственным процессом, в котором главным действующим агентом было электричество. До этого представления об электричестве были связаны с физиче-



*Б. С. Якоби*

скими демонстрациями, с лабораторией ученого или с такими неэнергетическими применениями электричества, как телеграф и мины. И в этой обстановке Якоби первый сумел воспользоваться для нужд человека свойством электричества преобразовываться в другие формы энергии, в данном случае в химическую. Это было первое (наряду с электродвигателем) энергетическое применение электричества. Люди увидели, что электричество способно осуществлять сложные химические превращения, имеющие большое практическое значение.

Дальнейшее развитие гальванотехники шло как по линии распространения гальванотехнических процессов в различных областях производства и увеличения числа предприятий, использующих гальванотехнику, так и по линии совершенствования технологических процессов, что неизбежно вытекало из массового характера производства.

В России изобретение Якоби сразу же получило широкое развитие.

Мы уже говорили о работе, выполненной Якоби в 1839 г. в Экспедиции заготовления государственных бу-

маг (ЭЗГБ) при проведении денежной реформы. В этой организации работали под руководством Якоби русские инженеры Е. И. Клейн и Р. Х. Ленц, широко применявшие и развивавшие гальванопластику. Клейн предложил способ гальваностегического нанесения железного слоя на клише, что значительно увеличило срок их службы. Он также разработал способ получения химически чистого железа путем электролиза. Р. Х. Ленц провел большую работу по исследованию свойств химически чистого железа. В ЭЗГБ гальванопластическое производство было поставлено на высоком техническом уровне и в большом масштабе. Здесь изготавливались не только денежные знаки, государственные бумаги, но и различные художественные изделия. Есть сведения [Л. 48], что гальванопластическая мастерская ЭЗГБ к концу прошлого века была самой крупной в Европе. В 1839 г. гальванопластика начала внедряться в Депо карт при Генеральном штабе. Проведение опытов печатания карт с гальванопластических клише и организация дела были поручены Якоби и архитектору Брюлову.

В 1845 г. при самом непосредственном участии Якоби в Петербурге начало работать гальванопластическое заведение герцога М. Лейхтенбергского. Цель этого заведения, как сообщалось на заседании Академии наук в 1845 г., «...состояла в приложении в больших размерах изобретенной в России гальванопластики со всеми успехами, сделанными ею со времени ее открытия, и в приведении к возможности художественно-промышленного совершенствования этих приложений в самом отечестве новой науки» [Л. 120]. Мастерская была хорошо организована и оснащена. В ней выполнялись крупные заказы: были изготовлены различные архитектурные украшения (барельефы, статуи) для Исаакиевского и Петропавловского соборов, Эрмитажа, Зимнего дворца, Большого театра в Москве [Л. 19]. Для храма Христа Спасителя, строившегося в 1850-х годах в Москве, производилась позолота листов для купола. В качестве эксперта был приглашен Якоби, причем это мотивировалось тем, что наблюдение за таким крупным производством может быть поручено только «человеку, посвятившему на сей предмет свои теоретические и практические исследования, вполне заслужившие справедливое одобрение ученого совета, и который по положению своему и личным качествам представляет вернейшее

ручательство в совершенно отчетливом выполнении позолоты» [Л. 85, лист 5].

В гальванопластическом заведении Лейхтенбергского велись научные исследования, изыскивались возможности для усовершенствования гальванопластики. Так, там было осуществлено изучение характера изменения состава электролита в ходе гальванопластического процесса, что дало материалы для суждения о правильности технологии. Были разработаны способы определения концентрации растворов в любой момент производственного процесса. Проводились опыты замены цинковых электродов железными, медными — угольными.

Весьма важным шагом явилась попытка применить в качестве источника тока электрический генератор. Работы по замене гальванических элементов электрическим генератором проводились под руководством полковника М. Г. Евреинова. Однако удовлетворительных результатов получить не удалось: осаждаемая медь ложилась рыхлым слоем и снять копию не представлялось возможным. Позже, в 1854 г., Э. Х. Ленц объяснил эту неудачу тем обстоятельством, что при работе с электрическим генератором не учитывали наличие реакции якоря. Не зная о характере влияния поля токов, возникающих в якоре, на процессы, происходящие в электрической машине, коммутатор устанавливали на линии геометрической нейтрали. В результате этого через гальванопластическую ванну проходил ток обратного направления (правда, не значительный по величине). Этого тока оказалось достаточно, чтобы нарушить ход гальванопластического процесса: на медной пластине происходило выделение кислорода, что мешало образованию плотного осадка.

Гальванопластика была первым техническим производством, потреблявшим электрическую энергию в значительных количествах. Необходимость замены дорогостоящих гальванических батарей более дешевыми и удобными источниками тока ощущалась все острее по мере роста и развития гальванотехники. Поэтому попытка Евреинова была не случайна. В 1867 г., после Парижской всемирной выставки, где гальванотехника продемонстрировала свои крупные успехи, Б. С. Якоби прямо писал, что, по его мнению, будущее гальванотехники связано с электрическими машинами, которые заменят гальванические элементы и этим помогут гальванопластике еще больше расширить круг своих приложений.

Потребности гальванопластики явились серьезным стимулом для совершенствования электрических генераторов. Появление в 1870-х годах наряду с гальванопластикой такого мощного потребителя электроэнергии, как электрическое освещение, ускорило процесс совершенствования электрических генераторов и, в частности, коммутирующего устройства, так как для гальванотехники необходим был постоянный ток. С своей стороны, успехи электромашиностроения создали возможность для еще большего развития гальванопластических производств.

Русские люди выступали зачинщиками применения гальванопластики в новых отраслях производства. Ф. Г. Федоровский предложил способ получения бесшовных медных труб с помощью гальванопластики. По способу Федоровского изготавливались трубы весьма сложных форм и конструкции, что было очень сложно сделать обычным способом отливки, при этом гальванопластические трубы обладали значительной прочностью. Например, труба диаметром 70 мм выдерживала давление 25 кГ/см<sup>2</sup> \*.

Б. С. Якоби был знаком с работами Федоровского и отмечал, что этот метод получит особое значение, когда гальванические элементы будут заменены электрическими генераторами, а с этим удешевится производство труб, которое вначале было слишком дорогим.

Предложение об использовании гальванопластики для гравирования печатных ситценабивных валков-цилиндров было сделано крестьянином села Васильевского Шуйского уезда Александром Кувалдиным. С сообщением о своем изобретении Кувалдин обратился в Петербургскую академию наук, однако дальнейшая судьба его предложения неизвестна.

Над подобным применением гальванопластики успешно работали и в Англии. В 1841 г. в Глазго уже было организовано гальванопластическое производство медных валков для набивки ситцев. В настоящее время наибольшее значение имеет фотомеханический способ гравирования печатных валков. Однако для уменьшения печатного брака тканей и удлинения срока службы гравюры гравированные медные валы гальваностегически покрываются тонким слоем хрома (около 0,02 мм). Это позволяет в 10—15 раз увеличить срок службы валов. Кроме того, гальваностеги-

\* Для сравнения укажем, что в настоящее время чугунные трубы диаметром 50—600 мм рассчитаны на давление 10—16 ат.

ческий процесс применяется для наращивания валов после стачивания отработанных рисунков.

В 1854 г. Академия наук присудила Демидовскую премию петербургскому фабриканту Иохиму за «применение гальванопластики к печатанию типографским способом». Разработанный Иохимом метод изготовления типографского шрифта позволял, по отзыву Якоби, изготавлять шрифты, обладающие в 12 раз большей прочностью, чем все известные до того времени шрифты, и отличался дешевизной. Гальванопокрытие шрифтов широко используется в полиграфической промышленности и в настоящее время. Нанесение на стереотипы слоя железа, никеля или хрома толщиной 0,02—0,03 мм дает повышение их износостойчивости в 10—30 раз.

В России также был разработан один из лучших промышленных способов золочения. В 1843 г. об этом способе, предложенном петербургским зубным врачом Брианом, Якоби докладывал Академии наук. Кроме чисто технических преимуществ (прочность позолоты, красивый цвет и т. п.), золочение по методу Бриана давало экономию золота от 20 до 25%.

Подобные примеры деятельности русских изобретателей в области гальванопластики можно было бы приводить еще и еще<sup>1</sup>. В России не только пытались внедрять гальванопластику в различные производства, но и впервые в мире здесь была организована подготовка специалистов для этой области техники.

В 1842 г. при Министерстве финансов было организовано гальванопластическое училище, в котором готовились кадры для ЭЗГБ и других организаций, использовавших гальванотехнику. Якоби живо интересовался работой этого училища. По приглашению министра финансов зимой 1842 г. он читает в училище курс публичных лекций по гальванопластике, а также об электромагнетизме и его технических применениях. В связи с важностью гальванопластики для снятия копий с художественных произведений практические занятия гальванопластикой были введены и в Петербургской публичной школе рисования.

Все сказанное свидетельствует о том, что на родине изобретения продолжались работы над его совершенство-

<sup>1</sup> Обширные материалы по развитию гальванопластики в России в первые годы после ее изобретения приведены в статье И. Г. Спасского [Л. 97].

ванием, что в дело, начатое Якоби, здесь вносили много нового и полезного. Эти же примеры свидетельствуют о том, что Якоби не переставал интересоваться развитием гальванопластики, был в центре работ, — помогал молодым изобретателям, выступал консультантом, экспертом.

Собственные работы Б. С. Якоби по гальванопластике после 1840 г. имели незначительный удельный вес в его научных занятиях, что можно объяснить как большой занятостью ученого работой в других областях электротехники, так и тем, что дальнейшее развитие гальванопластики больше заключалось в решении технических, а не научных проблем. Якоби выступает время от времени в Академии наук с сообщениями о состоянии гальванопластики, а также с некоторыми своими работами. Он представляет Академии наиболее примечательные образцы своих гальванопластических изделий. В 1844 г. он докладывает о разработанном им способе гальваническим путем приготавлять электролит для покрытия предметов латунью. В конце своей жизни, в 1870 г., когда интересы Якоби были в основном направлены в область метрологии, он предлагает изготавливать различные эталоны посредством гальванопластики.

В 1851 г. Якоби, вернувшись из командировки в Западную Европу, писал: «Я получил удовлетворение, еще раз увидев, что гальванопластика, дитя, которое я дал миру не без трудностей, растет и хорошеет, обходя весь свет и всюду оставляя бессмертные следы» [Л. 99]. Для этих слов Якоби имел все основания. Действительно, за границей гальванопластика получила огромное распространение, ибо в капиталистических странах предпринимательская инициатива была поставлена в несравненно лучшие условия, чем в России. Во многих случаях гальванопластика имела серьезные преимущества перед литьем: большая точность воспроизведения формы, отсутствие высоких температур и связанного с этим угаря металла, простота изготовления формы, лучшее качество металла в смысле чистоты и плотности. Эти-то преимущества и привлекли внимание к гальванотехнике. Знаменитая в свое время фабрика по изготовлению гальванопластическим путем массивного серебра ван-Кемпена в Голландии, снабжавшая своими изделиями многие страны Европы, выросла из небольшого предприятия по производству литых серебряных изделий. В Париже была создана фабрика гальванопластических изделий Кристофль и К°, на ко-

торой постоянно работало около 400 рабочих. О финансовой стороне этого заведения Якоби писал: «Г. Кристофль показал мне по своим бухгалтерским книгам, что мое изобретение доставляет его фирме оборот в 300—400 тысяч франков в месяц» [Л. 99]. Кроме подобных крупных предприятий, во многих странах было много более скромных заведений, где гальванопластическим путем изготавливались предметы роскоши, карты, гравюры, различные скульптурные произведения и т. п.

В процессе применения гальванопластического способа за границей было сделано много предложений об усовершенствовании технологии, расширении сферы использования гальванопластики. Большинства этих предложений, новых производственных приемов и т. п. Якоби касается в своем подробнейшем «Отчете о гальванопластике на Парижской Всемирной выставке 1867 года» [Л. 116].

В настоящее время гальванотехника имеет широкое применение и играет большую роль в промышленности.

Современное гальванотехническое производство, ставшее неотъемлемой частью почти каждого машиностроительного завода, полиграфических и ряда других предприятий, представляет собой сложное технологическое хозяйство. Основной частью его являются ванны (для химического и электрохимического обезжиривания изделий, для их промывки, для нанесения металлических покрытий и снятия гальванопластических копий, для выполнения завершающих операций — осветление, промасливание и т. п., для улавливания электролита), электроэнергетическое (низковольтные двигатели и генераторы постоянного тока, выпрямители) и вспомогательное оборудование (насосы, вентиляторы, аппаратура для проверки качества электролитов и покрытий). Для массового производства гальваностегических покрытий созданы ванны-полуавтоматы и ванны-автоматы, в которых изделия автоматически транспортируются согласно технологии из одной ванны в другую.

В 1952 г. был разработан метод нанесения гальванопластических покрытий при питании переменным током, что весьма существенно удешевляет и упрощает гальванотехническое производство.

## ЛИТЕРАТУРА

Подробную библиографию трудов Б. С. Якоби и литературы о нем см. в библиографическом указателе: Борис Семенович Якоби. Составила М. Г. Новлянская под ред. К. И. Шафрановского, Изд. АН СССР, 1953.

1. Архив Академии наук СССР, фонд 187, опись 1, дела 85 и 86.
2. Архив Академии наук СССР, фонд 187, опись 1, дело 77.
3. Архив Академии наук СССР, фонд 85, опись 3, дело 8.
4. Архив Академии наук СССР, фонд 187, опись 1, дело 82.
5. Белькинд Л. Д., Павел Николаевич Яблочков, Госэнергоиздат, 1950.
6. Булгарин Ф., Новые успехи на поприще электромагнетических опытов и радостные надежды на будущее, «Северная Пчела», 1839, № 216, 26 сентября.
7. Баумгарт К. К., Работы Э. Х. Ленца и Б. С. Якоби по электромагнетизму, в кн. «Вопросы истории отечественной науки» изд. АН СССР, 1949.
8. Вернер Ф., Гальванопластика в ее техническом применении, СПБ, 1844.
9. Взгляд на пользу электричества в промышленности, «Посредник», 1841, № 2.
10. Вильд Г. И., О жизни и ученых трудах академика Б. С. Якоби, «Записки Петербургской академии наук», 1876, т. 28, кн. 1.
11. Владимирский А. С., Очерк истории открытия гальванопластики, М., 1869.
12. Гальванопластика, «Северная Пчела», 1839, № 236, 19 октября.
13. Гамель И., Исторический очерк электрического телеграфа, «Журнал Главного Управления Путей сообщения и публичных зданий», 1860, т. 32.
14. Городничин Н. Т., Шляпберский В. И., Россия — родина первого электромагнитного и первого буквопечатающего телеграфных аппаратов, «Вестник связи, Электросвязь», 1948, № 6, 7.
15. Греков А. Ф., Полное изложение гальванопластики, гальванической позолоты и серебрения, СПБ, 1844.
16. Гумилевский Л., История локомотива, ОНТИ, 1937.
17. Двигательная электромагнитная сила г. Якоби, «Библиотека для чтения», 1838, т. 29, отд. VII.
18. Двигательная электрическая машина Девенпорта, «Библиотека для чтения», 1838, т. 29, отд. VII.
19. Дешевый М. М., Речь на открытии гальванопластической выставки в память 50-летия открытия гальванопластики академиком Б. С. Якоби, «Записки Русского технического общества», 1889, № 4.
20. Динамомашина в ее историческом развитии. Документы и материалы под ред. В. Ф. Миткевича, Изд. АН СССР, 1934.

21. Евлахов Л., Памяти Б. С. Якоби (1801—1901), «Россия», 1901, № 852 от 9 (22) сентября.
22. Ефремов Д. В., Академик Якоби — пионер машиностроения, «Вопросы истории отечественной науки», изд. АН СССР, 1949.
23. Ефремов Д. В., Работы Б. С. Якоби в области электроминного дела, «Вестник электропромышленности», 1951, № 9.
24. Зягинцев О. Е., Академик Б. С. Якоби (к 125-летию со дня рождения), «Природа», 1927, № 2.
25. Зягинцев О. Е., Академик Б. С. Якоби и его труды по платине, «Известия института по изучению платины и других благородных металлов», 1928, вып. 6.
26. Изобретатель телеграфных аппаратов разных систем, в том числе буквопечатающего, а также гальванопластики академик Б. С. Якоби, «Почтово-телеграфный журнал», 1911, № 2.
27. Ильин А. А., Б. С. Якоби. Исторический очерк изобретения гальванопластики, СПБ, 1889.
28. История естествознания в России, Изд. АН СССР т. I, ч. 2, 1957.
29. История телеграфа, «Почтово-телеграфный журнал», 1896, № 10, 11.
30. История телеграфа в России, «Электричество», № 13, 14, 15, 1881.
31. История телеграфа в России, «С.-Петербургские ведомости», № 122, 127, 1881.
32. История электрического телеграфа, «Вестник естественных наук», № 2, 1854.
33. Кайданов В., Рассуждения о взаимных отношениях гальванических токов и магнитов, СПБ, 1841.
34. Капцов Н. А., Русские электрики, «Успехи физических наук», т. 35, вып. 1, 1948.
35. Коптев И. В., Курбатов Н. Д., Кулешов В. Н., Линейно-кабельные сооружения связи, Связьиздат, 1949.
36. Кравец Т. П., К 75-летию со дня кончины Б. С. Якоби, «Успехи физических наук», т. 83, вып. 3, 1949.
37. Кудрявцев П. С., История физики, т. I, Учпедгиз, 1956.
38. Кутченков А., Гальванический способ взрывания, «Военно-инженерный журнал», № 7, 1948.
39. Лапшин В., Об электромагнитных телеграфах, «Журнал министерства народного просвещения», ч. 37, отд. II, 1843.
40. Лапшин В., Об электромагнитных телеграфных линиях в разных государствах, «Журнал министерства народного просвещения», ч. 85, отд. II, 1855.
41. Лежнева О. А., Научная деятельность Э. Х. Ленца в области физики, «Труды института естествознания АН СССР», т. IV, 1952.
42. Лежнева О. А., Ржонцикский Б. Н., Эмилий Христианович Ленц, Госэнергоиздат, 1952.
43. Ленц Э. Х., О «Гальванопластике» Б. С. Якоби, в кн. «Девятое присуждение учрежденных П. Н. Демидовым наград», СПБ, 1840.
44. Ленц Э. Х., Об отношении между электромагнитными и магнитоэлектрическими явлениями, «Маяк современного просвещения и образования», ч. III, 1840.
45. Ленц Э. Х., Избранные труды, Изд. АН СССР, 1950.
46. Милогин А. М., Первые телеграфные линии в России, «Вестник связи. Техника связи», № 2, 1950.
47. Министерство внутренних дел. Исторический очерк. Приложение № 2, Почта и телеграф, СПБ, 1902.

48. Немировский Е. Л., Работа русских изобретателей в области гальванотехники, «Электричество», № 9, 1951.
49. Одоевский В., Гальванизм в техническом применении, ч. I и II, СПБ, 1844.
50. О китобойном приборе Б. С. Якоби, «Журнал Министерства народного просвещения», ч. 80, отд. VII, 1853.
51. О новом открытии, сделанном проф. Якоби, «С.-Петербургские ведомости», № 291, от 24 декабря 1838.
52. Обнаружение кабеля, проложенного в прошлом столетии академиком Б. С. Якоби, «Вестник связи. Техника связи», № 2, 1951.
53. Осаждение свинцовых и железных окислов на поверхности различных металлов посредством гальванизма, «Отечественные записки», т. 30, отд. VIII, 1843.
54. Отчет о девятом присуждении Демидовских наград, СПБ, 1840.
55. Отчет о 23 присуждении Демидовских наград, «Записки Академии наук», т. III, вып. 1, 1855.
56. О награждении профессора Якоби за сделанное им открытие, «Журнал мануфактур и торговли», № 8, отд. V, 1840.
57. Очерк работ русских по электротехнике с 1800 по 1900 г., СПБ, 1900.
58. Пашенцев Д. С., Россия — родина электротелеграфии; в кн. «Вопросы истории естественной науки», изд. АН СССР, 1949.
59. Петрушевский Ф. Ф., Курс наблюдательной физики, т. II, СПБ, 1870.
60. Петрушевский Ф. Ф., Гальванизм и его практические приложения, «Сын отечества», статья 3, т. 7, 1852.
61. Писаревский Н. Г., Об успехах телеграфии со времен Шиллинга до настоящих дней, «Электричество», № 13—14, 1886.
62. Письма к Б. С. Якоби Фарадея, Берцеллиуса, Гумбольдта, Грове, Эрстеда, Гофмана, Баранта, Локкита, Диркса, Беккереля, «Записки Русского технического общества», № 4, 1889.
63. Производство выпуклых рисунков на меди посредством гальванопластики, «Сын отечества», т. 32, 1839.
64. Празднование Русским техническим обществом 50-летия изобретения Б. С. Якоби гальванопластики, «Электричество», № 4, 1889.
65. Радевич П., Электрические переключатели для увеличения количества взрываемых маломощными источниками тока электродетонаторов, «Взрывное дело», вып. 10 (18), 1934.
66. Радовский М. И., Борис Семенович Якоби, Биографический очерк, Госэнергоиздат, 1953.
67. Радовский М. И., Пionер технической физики в России, «Журнал технической физики», т. 21, вып. 10, 1951.
68. Развитие минного оружия в русском флоте. Документы, под ред. подполковника А. А. Самарова и майора Ф. А. Петрова, Военно-Морское изд., 1951.
69. Розенбергер Ф., История физики, ч. III; вып. 1, 1937 г.
70. Руководство для действия гальваническими приборами и принадлежностями, СПБ, 1859.
71. Ученые открытия в 1838 г., «Журнал Министерства народного просвещения», 1839, ч. 22, отд. II.
72. Фарадей М., Экспериментальные исследования по электричеству, изд. АН СССР, т. 1, 1947.
73. Фрумкин А. Н., Обручева А. Д., Работы Б. С. Якоби в области химических источников тока, «Электричество», № 2, 1953.

74. Франкфурт Я. Л., По поводу приоритета в создании электродвигателя, «Вестник электропромышленности», № 8, 1949.
75. ЦГАВМФ, фонд 410, опись 1, дело 1005.
76. ЦГИАЛ, фонд 735, опись 10, дело 130.
77. ЦГИАЛ, фонд 735, опись 3, единица хранения 75.
78. ЦГИАЛ, фонд 735, опись 1, единица хранения 713.
79. ЦГИАЛ, фонд 735, опись 1, единица хранения 714.
80. ЦГВИА, фонд 1073.
81. ЦГИАЛ, фонд 735, опись 3, единица хранения 7.
82. ЦГИАЛ, фонд 1289, опись 1, единица хранения 774.
83. ЦГИАЛ, фонд 735, опись 2, единица хранения 64.
84. ЦГИАЛ, фонд 735, опись 2, единица хранения 463.
85. ЦГИАЛ, фонд 735, опись 3, единица хранения 276.
86. ЦГИАЛ, фонд 735, опись 1, единица хранения 774.
87. Чирахов Ф. Х., Работы П. Л. Шиллинга и Б. С. Якоби в области электрических линий связи, «Известия АН СССР», серия физическая, т. 13, № 4, 1949.
88. Шателен М. А., Работы Б. С. Якоби в области электрических измерений, «Электричество», № 9, 1950.
89. Шнейберг Я. А., Михаил Матвеевич Боресков, Госэнергоиздат, 1951.
90. Электродвигатель в его историческом развитии. Документы и материалы под ред. В. Ф. Миткевича, изд. АН СССР, 1936.
91. Электромагнетизм как движущая сила, «Отечественные записки», т. 3, отд. VIII, 1839.
92. Электрические телеграфы, «Отечественные записки», т. 4, отд. VIII, 1839.
93. Электродвигательные машины гг. Девенпорта и Якоби, «Библиотека для чтения», т. 30, отд. VIII, 1838.
94. Энгельс Ф., Анти-Дюринг, ОГИЗ, 1948.
95. Якоби Н. Б., Электромагнитный бот Б. С. Якоби, «Записки Русского технического общества», № 2, 1903.
96. Якоби Б. С., Материалы. Архив Центрального музея связи им. А. С. Попова.
97. Якоби Б. С., Работы по электрохимии. Сборник статей и материалов под ред. А. Н. Фрумкина, Изд. АН СССР, 1957.
98. Якоби Б. С., Об электротелеграфии, «Почтово-телеграфный журнал», № 1, 1901.
99. Якоби Б. С., Путевые записки во время путешествия по Западной Европе (1851 г., июня 16—октября 13), Государственная библиотека СССР им. В. И. Ленина, отдел рукописей, инв. № 1943.
100. Якоби Б. С., Гальванопластика или способ по данным образцам производить медные изделия из медных растворов с помощью гальванизма, СПБ, 1840.
101. Якоби Б. С., Записка министру финансов М. Х. Рейтеру (1872 г.), «Успехи физических наук», т. 35, стр. 582—588, 1948.
102. Якоби Б. С. О теории электромагнитных машин, „Bulletin de la Classe physico-mathématique de l'Académie des sciences“, vol. IX, p. 289—231, 1851.
103. Якоби Б. С., Об аппарате для изменения или обращения направления электрического тока, названном вращательным коммутатором, „Bulletin scientifique publié par l'Académie des sciences de St.-Petersbourg“, vol. V, p. 318—319, 1839.

104. Якоби Б. С., О поляризации проводников, „Bulletin de la Classe physico-mathématique de l'Académie des sciences“, vol. VII, col. 1—21, 1849.
105. Якоби Б. С., Письмо к П. Н. Фуссу, „Bulletin scientifique publié par l'Académie des sciences de St.-Petersbourg“, vol. III, col. 333—335, 1838.
106. Якоби Б. С., О работах по телеграфии, „Почтово-телеграфный журнал“, № 4, стр. 1—8, 1895.
107. Якоби Б. С., Об электротелеграфных линиях, „Bulletin de la Classe physico-mathématique de l'Académie des sciences“, vol. VI, col. 17—44, 1848.
108. Якоби Б. С., Об электротелеграфных линиях, „Bulletin de la Classe physico-mathématique de l'Académie des sciences“, vol. IV, col. 113—135, 1845.
109. Якоби Б. С., Электрический телеграф между Петербургом и Царским Селом, „Журнал Министерства народного просвещения“, т. 41, отд. 7, стр. 15—18, 1844.
110. Якоби Б. С., Заметка об электромагнитах, „Annalen der Physic und Chemie“, Bd 31, S. 367—368, 1834.
111. Якоби Б. С., Заметка об электротелеграфных проводниках, „Bulletin de la Classe physico-mathématique de l'Académie des sciences“, vol. 10, col. 240, 1852.
112. Якоби Б. С., Некоторые замечания о гальванических проводниках, „Bulletin de la Classe physico-mathématique de l'Académie des sciences“, vol. I, col. 129—141, 1843.
113. Якоби Б. С., Замечания к статье об электромагнитных телеграфах, „St.-Petersbourg Zeitung“, № 147, 1 Juli, 1844.
114. Якоби Б. С., О поляризации проводников, „Bulletin de la Classe physico-mathématique de l'Académie de sciences“, vol. VII, col. 1—29, 1849.
115. Якоби Б. С., О некоторых новых гальванических парах, „Bulletin de la Classe physico-mathématique de l'Académie de sciences“, vol. 5, col. 209—224, 1847.
116. Якоби Б. С., Отчет о гальванопластике на Парижской Всемирной выставке 1867 г., „Записки Петербургской Академии наук“, 1869, т. 15, стр. 1—32.
117. Якоби Б. С., Письмо Беккерелю (1846), „Annales de Chimie et de Physique“, 1867, vol. II, p. 238—248.
118. Якоби Б. С., Лекция в Парижской консерватории искусств и ремесел об изобретении гальванопластики, „Annales du Conservatoire impérial des Arts et Métiers“, Paris, 1867, vol. 7, p. 541—556.
119. Якоби Б. С., Письмо П. Н. Фуссу об изобретении гальванопластики, „Bulletin scientifique publié par l'Académie des sciences de St.-Petersbourg“, 1838, vol. III.
120. Якоби Б. С., Об ученых трудах покойного герцога Максимилиана Лейхтенбергского, „Журнал Министерства народного просвещения“, 1853, ч. 77, отд. II, стр. 278—286.
121. Якоби Б. С., Материалы, касающиеся возбужденного в отношении меня спора о приоритете, „Bulletin de la Classe physico-mathématique de l'Académie des sciences“, 1845, vol. 3, p. 8.
122. Яроцкий А. В., Павел Львович Шиллинг, М.—Л., 1953.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	5
Г л а в а п е р в а я. Б. С. Якоби — ученый и инженер . . . . .	9
Г л а в а в т о р а я. Работы Б. С. Якоби в области электрических машин . . . . .	23
Проблема электрического двигателя . . . . .	27
Первый двигатель Б. С. Якоби . . . . .	39
Работы над практическим использованием электродвигателя . . . . .	48
Исследования по теории электромагнетизма . . . . .	69
Открытие явления обратной э. д. с. . . . .	69
Изучение электромагнитов . . . . .	73
Работы по теории электрических машин . . . . .	93
Г л а в а т р е т ъ я. Работы Б. С. Якоби в области электротелеграфии . . . . .	108
Создание телеграфных аппаратов . . . . .	115
Строительство линий электромагнитного телеграфа . . . . .	126
Телеграфные линии . . . . .	140
Исследование проводимости земли и воды . . . . .	148
Испытание кабелей . . . . .	153
Работы по улучшению качества передачи . . . . .	162
Г л а в а ч е т в е р т а я. Работы Б. С. Якоби в области военной электротехники . . . . .	167
Работы Якоби по подводным минам. Электротехническая часть минного оружия . . . . .	170
Источники питания . . . . .	171
Электроавтоматические минные устройства . . . . .	180
Введение минного оружия в армии . . . . .	192
Подготовка кадров русских военных гальванеров . . . . .	198
Г л а в а п ят а я. Некоторые работы Б. С. Якоби по электрохимии . . . . .	201
Гальванические элементы . . . . .	201
Изобретение гальванопластики . . . . .	210
Литература . . . . .	227



Цена 7 р. 80 к.

76848

44  
14633

Экземпляр  
чит. зала