



УДК 621.331.001.2

Электроход Бориса Семеновича Якоби

А.И. ДЕМИДОВ, д.х.н., проф.

ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29).

E-mail: demidov1902@gmail.com

Статья посвящена началу практической деятельности выдающегося российского физика и электротехника, члена Императорской Санкт-Петербургской академии наук Бориса Семеновича Якоби (1801–1874) по использованию электродвигательной машины, изобретенной им для движения судна (электрохода).

Ключевые слова: академик, электродвигатель, электроход.

В начале XIX века итальянский физик и физиолог Алессандро Вольта (1745–1827) в письме президенту Королевского общества в Лондоне сэру Джозефу Бэнксу (1743–1820) подробно описал свое изобретение – батарею гальванических элементов (вольтов столб), тем самым дал возможность всем желающим воспроизводить и совершенствовать его изобретение [1, 2]. Началась эра электричества. Спустя 20 лет датский физик Ганс Христиан Эрстед (1777–1851) экспериментально установил отклонение магнитной стрелки от направления меридиана под воздействием электрического тока, идущего в проводнике [1]. В 1831 году английский физик Майкл Фарадей (1791–1867) открыл явление электромагнитной индукции.

В ноябре 1834 года молодой инженер Мориц Герман Якоби (после принятия российского подданства (1848) [3] – Борис Семенович Якоби) послал письмо в Парижскую академию наук об изобретенной им магнитной машине (электродвигателе), в которой магнетизм является движущей силой [4]. Сообщение Якоби было передано на рассмотрение выдающимся французским физикам А.М. Амперу (1775–1836) и А.С. Беккерелю (1788–1878). Годом позже Якоби публикует «Мемуар о применении электромагнетизма для приведения в движение машин», где подробно описывает разработанную им конструкцию магнитной машины (двигателя) с круговым непрерывным движением [4].

27 мая 1837 года профессор Дерптского (ныне Тартуского) университета доктор философии Якоби обратился к министру народного просвещения и одновременно президенту Императорской Санкт-Петербургской академии наук С.С. Уварову с письмом [4], в котором были изложены преимущества электромагнитной машины (электродвигателя) и отмечено, что построенный двигатель «может давать непрерывную работу, мощность в 1/2 человеческой силы». Письмо заканчивалось словами: «Не могу

скрыть, что я ставлю себе в упрек то обстоятельство, что с просьбой о поддержке я обратился только теперь, но это вызвано желанием посвятить все свое время и всю свою энергию этому делу именно теперь, когда не остается больше никаких сомнений в успехе задуманного, и не только для того, чтобы не отказываться от своих прежних трудов, но и для того, чтобы мое новое отечество, с которым я уже связан многими узами, не лишилось славы сказать, что Нева раньше Темзы или Тибра покрылась судами с магнитными двигателями».

В этом письме Якоби приводит также результаты своих опытов по получению металлических копий гальваническим способом (гальванопластика): «Мне удалось, при некоторых условиях, получить плотный осадок меди, прекрасно поддающийся ковке, изумительно еще и то, что на поверхности этой искусственно полученной меди повторились с замечательной точностью все очертания и углубления, бывшие на поверхности медного электрода, как будто это был его собственный отпечаток. Вслед за тем я повторил опыт с гравировальной медной пластинкой и через несколько дней получил на отпечатке выпуклые черточки с такой точностью, которая не могла быть достигнута никаким иным способом».

Сергей Семенович Уваров (1786–1855) – президент Императорской Санкт-Петербургской академии наук с 1818 по 1855 год [5]. С.С. Уваров свободно владел французским, немецким языками, занимался литературой и историей [6]. Широкую известность ему принес опубликованный в 1810 году проект создания Восточной академии в России, в котором он сумел, не будучи ученым-востоковедом, вовремя поднять один из самых актуальных вопросов времени, выдвигаемый как политическими и практическими нуждами государства, так и интересами западного и русского ориентализма. Статья произвела впечатление в ученых кругах России и за границей. В 1811 году С.С. Уваров был из-



Б.С. Якоби

бран почетным членом Академии наук по специальности «Классическая история и филология». Министр народного просвещения с 1833 по 1849 год.

28 июня 1837 года президент АН С.С. Уваров вошел к Николаю I (1796–1855) с докладом, в котором поддержал ходатайство Якоби и предложил учредить «особый комитет академиков и разных ученых других ведомств, дабы предварительно рассмотреть наблюдения и планы профессора Якоби и составить подробный проект ожидаемых опытов, который имеет быть представлен мною на Высочайшее воззрение Вашего Императорского Величества... Предлагаемый Комитет мог бы быть составлен из академиков Фусса, Ленца, Остроградского и Купфера, из полковника Соболевского и действительного статского советника барона Шиллинга. Сей последний принес бы пользу особенно в практических распоряжениях Комитета» [7]. В тот же день, 28 июня 1837 года, царь утвердил предложения С.С. Уварова с резолюцией: «Исполнить, причислив вице-адмирала Крузенштерна и одного корабельного инженера по выбору князя Меншикова» [7]. Выбор пал на капитана корпуса корабельных инженеров С.А. Бурачека.



Иван (Адам) Федорович Крузенштерн (1770–1846) – русский мореплаватель, адмирал (1841), почетный член Императорской Санкт-Петербургской академии наук (1806) [8, 9]. Начальник первой русской кругосветной экспедиции (1803–1806). С 1811 года – инспектор классов, а в 1827–1842 годы – директор Морского кадетского корпуса (Санкт-Петербург). Его именем названо несколько географических пунктов, парусное судно, на набережной Лейтенанта Шмидта, напротив здания Морского кадетского корпуса ему установлен памятник.

Александр Сергеевич Меньшиков (1787–1869) – адмирал (1830), правнук Александра Даниловича Меньшикова (1673–1729) – сподвижника Петра I. В 1828 году назначен начальником Морского штаба и членом комитета министров. Член Государственного совета (1830) [9].

Павел Николаевич Фусс (1798–1855) – ординарный академик по кафедре математики, непреходящий секретарь Императорской Санкт-Петербургской академии наук (с 1826) [10]. Особого внимания заслуживают составленные Фуссом годовые отчеты о деятельности академии, содержащие ценный материал по ее истории. Будучи по отцу правнуком известного математика Леонарда Эйлера, П.Н. Фусс издал неопубликованные труды прадеда.

Эмилий Христианович Ленц (1804–1865) – директор физического кабинета Императорской Санкт-Петербургской академии наук (1830), ординарный академик (1834) [5, 8]. Основные работы в области электромагнетизма: установил правило определения направления электродвижущей силы индукции (закон Ленца) (1833), независимо от Джеймса Джоуля (1818–1889) – закон теплового действия электрического тока (закон Джоуля–Ленца) (1842). Совместно с Б.С. Якоби впервые разработал методы расчета электромагнитов в электрических машинах, установил существование в последних «реакции якоря», открыл обратимость электрических машин [11].

Михаил Васильевич Остроградский (1801–1861) – русский математик, один из основателей Петербургской математической школы, ординарный академик Императорской Санкт-Петербургской академии наук (1830). Основные работы относятся к математическому анализу, теоретической механике, математической физике; известен также работами по теории чисел, алгебре, теории вероятностей [5, 12].

Адольф Купфер (Теодор) Яковлевич (1799–1865) – химик, минералог, физик [5, 8]. С 1828 года – ординарный академик Императорской Санкт-Пе-

тербургской академии наук по кафедре минералогии, с 1841-го – по кафедре физики. Научные труды Купфера посвящены физике, минералогии, кристаллографии и метеорологии. Он впервые произвел точные кристаллографические измерения различных минералов (1821), кристаллической серы (1824). Изучил минерал менгит, который был в честь его назван «купферитом». Впервые ввел термический анализ металлических сплавов (1829). Принимал деятельное участие в работе комиссии по установлению точных мер и весов (1835). Был организатором магнитных и метеорологических наблюдений. Произвел первый в России анализ воздуха (1829). По его инициативе были построены метеорологические станции в различных пунктах России, а также Главная физическая обсерватория (1849).

Петр Григорьевич Соболевский (1782–1841) – член-корреспондент Императорской Санкт-Петербургской академии наук по разряду химии (1830) [5, 12]. В 1826 году совместно с В.В. Любарским разработал способ получения ковкой платины из сырой платины, добыча которой на Урале была начата незадолго до этого. Благодаря использованию этого метода были получены большие количества ковкой платины и изготовлены изделия из нее. С 1828 года этим способом изготовлялась платина для чеканки платиновой монеты.

Павел (Пауль Людвиг) Львович Шиллинг (Шиллинг фон Каннштадт) (1786–1837) – ученый востоковед-китаевед, член-корреспондент Императорской Санкт-Петербургской академии наук по разряду литературы и древностей Востока (1828), изобретатель-электротехник [5, 12]. В 1812 году Шиллинг впервые продемонстрировал на реке Неве в Петербурге взрыв изобретенной им электрической мины. В 1832 году – завершил создание электромагнитного телеграфа и с 9 октября 1832 года организовал у себя в петербургской квартире первые публичные демонстрации его действия.

Степан (Стефан) Анисимович Бурчак (1800–1876) – инженер-кораблестроитель, генерал-лейтенант Корпуса корабельных инженеров (1869) [9]. С 1832 года преподавал курс корабельной архитектуры и теории кораблестроения в Высшем офицерском классе при Морском корпусе. В 1835–1839 годы построил модель фрегата для обучения гардемарин Морского корпуса.

9 июля 1837 года состоялось первое заседание организованного при Академии наук комитета, именованного «Комиссией, учрежденной для приложения электромагнитной силы к движению

машин по способу Профессора Якоби». На первом заседании отсутствовал И.Ф. Крузенштерн, председательствовал на нем П.Л. Шиллинг, протокол вел Э.Х. Ленц [11]. Якоби продемонстрировал «модель машины, приводимой в движение посредством электромагнитной силы», демонстрация прошла успешно. Затем Якоби огласил содержание поданной Уварову записки. Члены комиссии согласились с выдвинутыми в ней положениями, разделяя мнение, что «в данное время необходимо изыскать все средства, чтобы осуществить применение этого нового двигателя к действительно полезным практическим эффектам».

Комиссия рассмотрела две сметы предстоящих расходов: «Смету единовременных издержек, потребных для учинения ряда опытов и приспособления электромагнетизма к движению машин» на сумму 34 750 руб. и «Смету ежегодных расходов в продолжении производства опытов в Санкт-Петербурге» на сумму 1200 руб. в месяц [7].

В докладе царю от 15 ноября 1837 года, С.С. Уваров сообщил, что комиссия под председательством вице-адмирала Крузенштерна приступила к занятиям своим с сентября 1837 года и первоочередной задачей является обустройство мастерской и оснащение оборудованием [7]. На этот доклад 16 ноября 1837 года последовала высочайшая резолюция: «О последующем меня по временам извещать».

В 1838 году дело настолько продвинулось, что «Комиссия, учрежденная по Высочайшему Повелению для устройства судна, приводимого в движение электромагнитной силою, разрешила некоторым образом свою задачу тем, что 15 сентября произведен был на Неве первый опыт подобного плавания – опыт, впоследствии неоднократно повторенный. ...Катер этот, в 25 футов (7,62 м) длины и 7 1/2 (2,29 м) ширины, был снабжен гребными колесами по образцу тех, которые употребляются на пароходах, и на нем устроена двигательная машина с гальваническим прибором (батареей)» [14]. Невозможно было распределить равномерно оборудование, в результате передняя часть судна погружалась в воду примерно на 21/2 фута (0,662 м). «Сама машина занимает на катере пространство 11/2 фута в ширину (0,457 м) и 21/12 фута в длину (0,635 м). Батарея, состоящая из 320 пар пластинок, удобно устроена вдоль боковых стен, так, что часто на судне без стеснения помещалось до 12 человек». Батарея состояла из 320 элементов Даниэля.

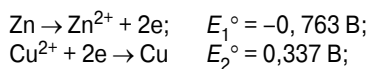
Джон Фредерик Даниэль (1790–1845) – английский химик и физик, член



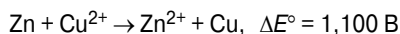
Королевского общества. В истории электротехники известен как изобретатель гальванического элемента (1836), названного его именем [15].

Элемент Даниэля (рис. 1) состоит из двух жидкостей и двух металлов [16]. В стеклянный стакан *a* ставят медный лист *c*, свернутый в виде цилиндра; внутри него помещают глиняный сосуд *l*, в который опускают плитку *z* из амальгмированного цинка; в стеклянный стакан между его стенками и глиняным сосудом наливают водный раствор медного купороса (сульфата меди), а в глиняный сосуд – раствор серной кислоты; Глиняный сосуд не покрыт глазурью, поэтому растворы медного купороса и серной кислоты соприкасаются между собою внутри крупных пор его стенок.

В соответствии с современной точкой зрения цинк служит анодом, а медь – катодом. Процессы на электродах при разряде элемента могут быть записаны следующим образом:



суммарная реакция:



или $\text{Zn} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{Cu}$,

где E_1°, E_2° и ΔE° – стандартные потенциалы реакций и стандартная величина ЭДС соответственно. Теоретическая удельная энергия элемента – $262 \text{ Вт}\cdot\text{ч}\cdot\text{кг}^{-1}$ [17]. Напряжения разомкнутой цепи – $1,1 \text{ В}$.

Только один раз питание электродвигателя осуществлялось от 320 элементов, и то короткое время [14]. Непредвиденные ошибки, которые нельзя было быстро исправить, не позволили полностью использовать батарею. Средняя скорость судна составляла при этом почти $1,5$ узла ($3,1 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$). Мощность электромагнитной машины – $0,25$ л.с. (184 Вт).

Учитывая результаты испытаний, комиссия рекомендовала прежде всего:

1) исправить связанные с нынешним устройством машины ошибки, состоящие в конструкции коммутатора и недостаточном изолировании проводов;

2) исследовать с помощью опытов, можно ли заменить сложные батареи простыми, то есть составленными из меньшего числа элементов большей поверхности, что представляло бы на практике неисчислимы выгоды;

3) обратить большее внимание на качество и форму глиняных сосудов изготовить еще небольшую модель электродвигателя по другому образцу соединения

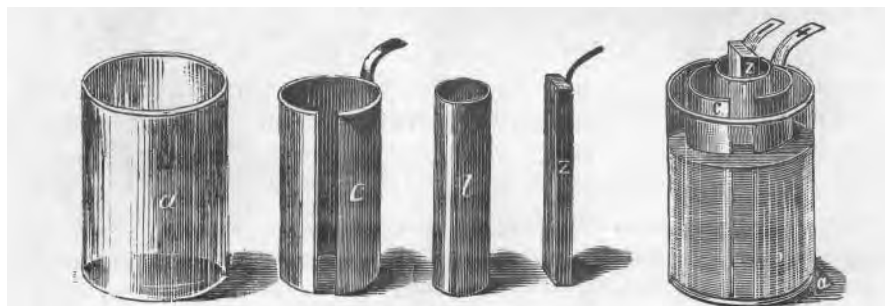


Рис. 1. Элемент Даниэля в разобранном и собранном состояниях

железных прудков (магнитных сердечников) и исследовать ее в действии.

«Комиссия полагает, что оставшиеся 6000 рублей от единовременно Высочайше пожалованной суммы достаточны для производства этих опытов. В течение будущего лета эти работы могут быть окончены. Если они окажутся успешными в своих результатах, то можно будет приступить к сооружению большого судна, примерно в 10 лошадиных сил. В противном же случае или если не удастся упростить манипуляцию батарей и стеснить занимаемое ими пространство, Комиссия полагает лучшим ограничиваться настоящими выгодами и предоставить другому благоприятному времени объяснения сущности этих сил природы, которые для нее еще должны были остаться неразгаданными и не употребленными в пользу» [14].

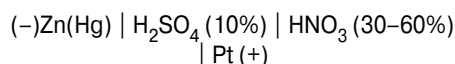
Президент АН Уваров представил царю донесение. 10 декабря 1838 года последовала высочайшая резолюция: «Опыты необходимо продолжить с должным тщанием» [7].

«Для продолжения опытов и работ оказались недостаточными те 6000 рублей ассигнациями, которые остались от Высочайше дарованной Комиссии суммы. Потребовалось испросить Высочайшее соизволение на дополнительное ассигнование в распоряжении Комиссии 10 тысяч рублей, а также отпущения из казны одного пуда очищенной платины» [7].

Выполняя рекомендации комиссии, Якоби заменил элементы Даниэля на элементы Грове и внес усовершенствования в конструкцию электродвигателя.

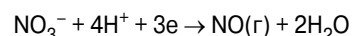
Вильям Роберт Грове (1811–1896) – английский физик, профессор экспериментальной физики в Королевском институте и член Королевского общества. В истории электротехники известен как изобретатель гальванического элемента (1838) [17], названного его именем [15].

Схема элемента Грове [18]:



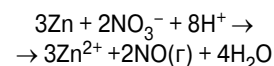
Серная кислота в элементе отделяется от азотной перегородкой из глины.

При разряде элемента на электродах могут протекать следующие реакции:

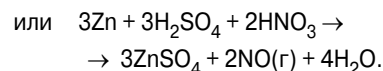


$$E_2^\circ = 0,96 \text{ В},$$

суммарная реакция:



$$\Delta E^\circ = 1,72 \text{ В}$$



Теоретическая удельная энергия элемента – $449 \text{ Вт}\cdot\text{ч}\cdot\text{кг}^{-1}$. Напряжение разомкнутой цепи – $1,9 \text{ В}$ [17]. Элемент нашел ограниченное применение из-за ядовитых газов – оксидов азота, которые образуются и выделяются при его работе.

К началу августа 1839 года все подготовительные работы были завершены и 8 августа были начаты новые испытания электродвигательной машины [8]. Электротягоход неоднократно ходил по Неве. Одно из испытаний было описано в газете «Северная пчела» от 26 сентября 1839 года: «2-го сентября человек до шестидесяти ученых, литераторов и любителей наук (в том числе несколько высших сановников) собрались на Петровском Острове, на даче полковника горных инженеров П.Г. Соболевского, чтобы стать свидетелями опытов над применением электро-магнитической силы к судоходству. Катер с двенадцатью человеками, движимый электро-магнитической силойю (3/4 силы лошади) (552 Вт) ходил несколько часов противу течения при сильном противном ветре». Внутри лодки мы находим «небольшую машину, которая при четырех футах высоты (1,219 м) занимает пространство не более 3/4 аршин в длину (0,533 м) и 1/4 аршин в ширину (0,178 м). По виду кажется, будто механизм лодки состоит из двух столбов, между которыми через всю ширину лодки идет железная ось. На конце лодки нахо-



дятся гребные колеса, устроенные точно так, как на пароходах».

Несомненно, достигнутые успехи были весьма велики и могли возбуждать дальнейшие радужные надежды, но в последующие годы не удалось улучшить эксплуатационные характеристики энергетической установки, поэтому 17 дека-

бря 1842 года последовало высочайшее соизволение на прекращение действия комиссии впредь до открытия какого-либо нового пути, могущего вести к усовершенствованию приложения электромагнитной силы к движению судов [7].

Главной причиной неуспеха начинания Якоби было отсутствие легкого и

достаточно экономичного генератора электрической энергии, который можно было установить на судне для питания двигателя. Ясно, что единственные тогда источники энергии – гальванические элементы – не могли удовлетворить предъявляемым требованиям [19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Льюэлли М. История физики: / пер. с итал. М.: Мир, 1970. 464 с.
2. Демидов А.И. От Вольты до Петрова (К 250-летию В.В. Петрова) // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2011 № 4(135) С. 285–290.
3. Новлянская М.Г. Борис Семенович Якоби. Библиогр. указ. / под ред. К.И. Шафрановского. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. 318 с.
4. Электродвигатель в его историческом развитии. Документы и материалы / Сост. Д.В. Ефремов и М.И. Радовский; под ред. акад. В.Ф. Миткевича. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 660 с.
5. Академия наук СССР. Персональный состав. Кн. 1. 1724–1917. М.: Наука, 1974. 480 с.
6. Комков Г.Д., Левшин Б.В., Семенов Л.К. Академия наук СССР. Краткий исторический очерк (в 2 т.). Т 1. 1724–1917. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1977. 384 с.
7. Якоби Н.Б. Электромагнитный бот Б.С. Якоби // Записки Императорского Русского технического общества. 1903. Год изд. 37, № 2. С. 117–146.
8. Биографический словарь деятелей естествознания и техники. Т. 1. АЛ / отв. ред. А.А. Зворыкин. М.: 1958. 548 с.
9. Словарь биографический морской / Авт.-сост. В.Д. Доценко. СПб.: Изд-во «Logos», 2001. 456 с.
10. Русский биографический словарь. Фабер – Цявловский. СПб.: тип. Безобразова и К°, 1901. С. 257.
11. Храмов Ю.А. Биографический справочник. 2-е изд., испр. и доп. М.: Глав. ред. физ. мат. лит-ры, 1983. 400 с.
12. Биографический словарь деятелей естествознания и техники. Т. 2. 1959. 467 с.
13. Радовский М.И. Борис Семенович Якоби. Биографический очерк. Л. М.: ГЭИ, 1953. 264 с.
14. Донесение Господину министру народного просвещения Комиссии, учрежденной для производства опытов относительно приспособления электромагнитной силы к движению машин по способу профессора Якоби // Журн. М-ва нар. просвещения. СПб., 1839. Ч. 21. Отд. 3. С. 37–46.
15. Динамомашина в ее историческом развитии. Документы и материалы / под ред. акад. В.Ф. Миткевича. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1934. 560 с.
16. Краевич К.Д. Курс физики для средних учебных заведений / перераб. А.Л. Гершуном. 2-е изд. СПб.: Изд-во К.Л. Риккора, 1909. 684 с.
17. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981. 360 с.
18. Кистяковский В.А. Электрохимия. Пг. Тип. Р.Г. Шредера, 1912–1916. 389 с. 19. Шателен М.А. Русские электротехники XIX века. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1955. 432 с.

ELECTRIC SHIP OF BORIS SEMENOVICH JACOBI

DEMIDOV A.I., Dr. Sci. (Chem.), Prof.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29, Politechnicheskaya St., 195251, St. Petersburg, Russia).

E-mail: demidov1902@gmail.com

ABSTRACT

The essay is devoted to the beginning of practical activity of the outstanding Russian physicist and electrical engineer, the member of the Imperial (Peterburg) Academy of Sciences, Boris Semenovich Jacobi (1801-1874) on the use of an electric motor machine invented by him for setting up a movement of an electric ship.

Keywords: academician, electric motor, electric ship.

REFERENCES

1. L'otsti M. *Istoriya fiziki* [History of Physics]. Moscow, Mir Publ., 1970. 464 p.
2. Demidov A.I. From Volt to Petrov (For the 250th Anniversary of V.V. Petrov). *Nauch.-tekhn. vedomosti SPbGPU. Nauka i obrazovaniye*, 2011, no. 4(135), pp. 285–290 (In Russian).
3. Novlyanskaya M.G. *Boris Semenovich Yakobi. Bibliograficheskiy ukazatel'* [Boris Semenovich Jacobi. Bibliographic index]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1953. 318 p.
4. *Elektrodvigatel' v yego istoricheskom razvitii. Dokumenty i materialy* [The electric motor in its historical development. Documents and materials]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1936. 660 p.
5. *Akademiya nauk SSSR. Personal'nyy sostav*. Kn. 1. 1724–1917 [Academy of Sciences of the USSR. Personal membership. Book 1. 1724–1917]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 480 p.
6. Komkov G.D., Levshin B.V., Semenov L.K. *Akademiya nauk SSSR. Kratkiy istoricheskiy ocherk (v dvukh tomakh). Tom pervyy* [Academy of Sciences of the USSR. A short historical essay (in two volumes). Volume one]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 384 p.
7. Yakobi N.B. Jacobi's electromagnetic bot. *Zapiski Imperatorskogo Russkogo tekhnicheskogo obshchestva*, 1903, no. 2, pp. 117–146 (In Russian).
8. *Biograficheskiy slovar' deyateley yestestvoznaniya i tekhniki. T. 1* [Biographical dictionary of figures of science and technology. Vol. 1]. M.: BSE Publ., 1958. 548 p.
9. *Slovar' biograficheskiy morskoy* [Biographical sea dictionary]. St. Petersburg, Logos Publ., 2001. 456 p.
10. *Russkiy biograficheskiy slovar'* [Russian biographical dictionary]. St. Petersburg, Bezobrazova i K° Publ., 1901. p. 257.
11. Khramov YU.A. *Biograficheskiy spravochnik* [Biographical reference]. Moscow, Glav. red. fiz.-mat. lit-ry Publ., 1983. 400 p.
12. *Biograficheskiy slovar' deyateley yestestvoznaniya i tekhniki. T. 2. M – YA* [Biographical dictionary of figures of science and technology. Vol. 2. M – YA]. Moscow, BSE Publ., 1959. 467 p.
13. Radovskiy M.I. *Boris Semenovich Yakobi. Biograficheskiy ocherk* [Boris Semenovich Jacobi. Biographical sketch]. Leningrad, Moscow, GEI Publ., 1953. 264 p.
14. Report to the Minister of Education of the Commission, established to produce experiments on the adaptation of electromagnetic forces to the movement of machines by the method of Professor Jacobi. *Zhurn. M-va nar. Prosveshcheniya*, 1839, vol. 21, no. 3, pp. 37–46 (In Russian).
15. *Dinamomashina v yeye istoricheskom razvitii. Dokumenty i materialy* [Dynamo in its historical development. Documents and materials]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1934. 560 p.
16. Krayevich K.D. *Kurs fiziki dlya srednikh uchebnykh zavedeniy* [Physics course for secondary schools]. St. Petersburg, K.L. Rikkora Publ., 1909. 684 p.
17. Bagotskiy V.S., Skundin A.M. *Ximicheskiye istochniki toka* [Chemical sources of current]. Moscow, Energoizdat Publ., 1981. 360 p.
18. Kistyakovskiy V.A. *Elektrokhimiya* [Electrochemistry]. R.G. Shredera Publ., 1912–1916. 389 p.
19. Shatelen M.A. *Russkiye elektrotekhniki XIX veka* [Russian electrical engineers of the XIX century]. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1955. 432 p.