

## НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

УДК 93; 621.31; 617-089

### ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОХИРУРГИИ

*канд. техн. наук А.Г. ДУБКО, канд. техн. наук Н.А. ЧВЕРТКО  
(Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев),  
д-р техн. наук, проф. А.В. ЛЕБЕДЕВ  
(Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского),  
канд. техн. наук, доц. А.В. ДУДАН  
(Полоцкий государственный университет)*

*Рассмотрена история электрохирургии от источников ее возникновения в глубокой древности до современного состояния, а также узловые этапы развития современных электрохирургических методов, основанных на явлении электромагнетизма. Весомый вклад в открытие и изучение этого явления внесли выдающиеся исследователи-экспериментаторы и теоретики многих народов мира. Отмечено, что врачи в XVIII в. изучали действие электричества на живые ткани, используя электрические машины и атмосферное электричество, а к концу XVIII в. уже были созданы основные представления об электричестве, изучены важнейшие явления электростатики и выполнено ее математическое обоснование. С началом XIX в. в центре внимания экспериментальной и теоретической физики находился электрический ток, особое теоретическое и практическое значение имели явления преобразования электричества в тепло. Сегодня на мировом рынке представлены многочисленные высокочастотные электрохирургические аппараты. Одним из приоритетных направлений научных исследований Института электросварки им. Е.О. Патона является внедрение новых технологий и оборудования для соединения биологических тканей сваркой в медицине.*

**Ключевые слова:** *электрический ток, электромагнетизм, медицинская практика, электротехника, биологические ткани, электрохирургия.*

**Введение.** Истоки развития современных электрохирургических методов лежат в глубокой древности. В давние времена термическое прижигание с помощью разогретого металла было широко распространенным методом лечения ран, при этом происходила их дезинфекция и остановка кровотечений. Инструменты для прижиганий имели разные формы и размеры в зависимости от области применения. В 3000 г. до н.э. египтяне использовали эту технику для лечения опухолей и для контроля кровоизлияний после травмы [1].

Основой современных электрохирургических методов является электромагнетизм. В его открытие и изучение внесли весомый вклад признанные исследователи-экспериментаторы и теоретики многих народов мира. На протяжении тысячелетий целые поколения постепенно, шаг за шагом подчиняли силы природы, изучая и анализируя процессы и закономерности, которые они наблюдали, с целью целесообразного научного и практического использования явлений и процессов природы. Среди значительных открытий, которые способствовали эффективному прорыву науки, можно выделить исследования в области электричества и магнетизма. По заключению ученых-физиков магнетизм и электричество следует рассматривать как разные проявления одного и того же фактора, определяющего свойства веществ, явлений и процессов природы.

**Основная часть.** *Предпосылки возникновения электрохирургии.* Электричество и магнетизм – две особенности материи и два явления природы – сформировали научную основу развития различных отраслей науки и техники. Магнетизм известен по меньшей мере с V в. до н.э. Камни, найденные вблизи г. Магнезия в Турции, будучи свободно подвешенными, всегда ориентировались в определенном направлении. Это явление используется в современном компасе. Как свидетельствует ряд исторических источников, в Европу компас попал от арабов, а они его заимствовали у китайцев. О компасе рассказывается в древних китайских летописях. В одной из них, датированной 2637 г. до н.э., китайский историк Чу-Ма-Циен описал колесницы, на которых расположены статуи, закрепленные на деревянной основе с магнитными стрелкообразными стержнями. Основа этих статуй была плавающей, поэтому они вращались в направлении полюсов Земли [2].

Большое влияние на историческое развитие науки оказала Древняя Греция (Эллада). Различные области знаний у древних греков не были еще расчленены на отдельные науки и объединялись общим понятием «философия» (любовь к знаниям). Для древнегреческой философии, особенно в наиболее ранних ее стадиях, характерна стихийная диалектика. Эта черта характеризует, в частности, мыслителей Милетской школы, возникшей около VI в. до н.э. в городах Малоазиатского побережья. Мыслители эти были одновременно естествоиспытателями и врачами. Историческая роль Древней Греции отражена в современной терминологии: хирургия (хейрургия – дословно *рукоделие*), гематология (учение о крови), офтальмология (учение о глазах). Есть множество других медицинских и технических терминов древнегреческого происхождения [3].

Основатель философского мышления и первой в истории философской Милетской школы древнегреческий философ Фалес (конец VII – начало VI вв. до н.э.) был признан первым среди семи греческих мудрецов. Он исследовал природу, изучал астрономию и математику [4]. Также его считают основателем науки об электричестве. Он описывал электрические явления на основе свойств натертого янтаря притягивать кусочки ткани, бумагу, нити.

Первое экспериментальное исследование электрических и магнитных явлений принадлежит английскому врачу-физику, впоследствии придворному лейб-медику, Вильяму Джильберту (Гильберту) (1544–1603), которого считали врачом-новатором [5]. Джильберт провел разносторонние экспериментальные исследования электрических и магнитных явлений. По его предложению введено в жизнь слово «электричество», положившее начало развитию и электротехники, и электротерапии. В XVII в. выдающиеся экспериментаторы, исследователи, ученые в большей или меньшей степени в своих трудах касались вопросов, связанных с электрическими и магнитными явлениями. Исаак Ньютон (1643–1727), Фрэнсис Бэкон (1561–1626), Роберт Бойль (1602–1686) и другие продолжили и углубили работу Гильберта. Наиболее значимым исследованием электричества и магнетизма того времени являются работы немецкого физика Отто фон Герике (1602–1686), который разработал первую электрическую машину. С помощью этого устройства он обнаружил явление отталкивания наэлектризованных тел.

После установления факта, что электричество является свойством ряда тел, следующим шагом исследований было изучение возможности передавать такое свойство от одного тела к другому. Этот шаг впервые осуществил в 1729 г. английский физик Стивен Стефан Грей (1666–1736). При изучении свойств различных тел он установил, что все тела можно разделить на «проводящие» и «непроводящие». Особого внимания заслуживает опыт Грея и Уиллера по проводимости человеческого тела. Анализируя это явление, Грей установил существование движения зарядов и указал на возможность его перехода от одного тела к другому различными способами. Также им установлено явление индукции, т.е. появления зарядов в теле, которое находится вблизи другого наэлектризованного тела. Переход электричества от одного тела к другому показал, что разные заряды неодинаково взаимодействуют между собой. Заряды могут «уничтожать» (компенсировать) друг друга. Таким образом, было установлено, что заряды могут иметь противоположные свойства [6].

Французский физик, член Парижской Академии наук Шарль Франсуа Дюфе (1698–1739) добился успехов в систематизации сведений об электрических эффектах, в т.ч. высказал мнение об электрической природе грома и молнии. Он составил программу изучения электрических явлений и открыл два «вида электрических зарядов» и первым исследовал взаимодействие положительных и отрицательных электрических зарядов. Он доказал, что одноименные наэлектризованные тела отталкиваются друг от друга, а разноименные – притягиваются. В своих экспериментах Дюфе использовал электромметр, который позволял измерять величину заряда [7].

В сороковых годах XVIII в. Гаузен (1693–1742), Иоганн Винклер (1703–1770), Бозе (1710–1761) и другие создавали электрическую машину. Она состояла из шара, вращающихся кожаных подушечек, которые терлись по стеклу, и кондуктора (железной трубки, подвешенной на шелковой нити), на котором накапливались электрические заряды.

В 1745 г. Эдвард фон Клейст (1700–1748) создал прибор, с помощью которого можно было собирать разноименные заряды. В дальнейшем этот прибор получил название «Лейденская банка», поскольку повторно был создан Кунеесом в Лейдене и получил широкое использование в таком виде. Значительным событием изучения электрических явлений были опыты голландского физика Питера ван Мушенбрука (1692–1761) с лейденской банкой. Лейденская банка стала прототипом современного конденсатора.

Значительный вклад в науку об электричестве внес американский ученый Беджемин (Вениамин) Франклин (1706–1790), опытным путем доказавший неравномерность распределения зарядов по поверхности проводников, а также электрическую природу молнии. Запуская воздушных змеев во время грозы, Б. Франклин получил электрические искры для зарядки лейденской банки и тем самым доказал в 1752 г. электрическую природу молнии, а также изобрел громоотвод. Б. Франклин высказал идею о атомизации электричества, т.е. строении электричества из элементарных электрических частиц, аналогично тому, как из атомов построено вещество. Свои исследования Б. Франклин выразил в письмах (1747–1754) к члену Лондонского королевского общества Питеру Коллинсону (1694–1768), который опубликовал их. Эти письма имели большой успех в Европе.

Одновременно с Б. Франклином и независимо от него к подобным выводам относительно электричества как свойства вещества и сути молнии пришли российские физики Георг Вильгельм Рихман (1711–1753) и Михаил Васильевич Ломоносов (1711–1765). Неоконченная диссертация М. Ломоносова называлась «Теория электричества, разработанная математическим методом». Известно, что Г. Рихман погиб во время исследования атмосферного электричества [8].

Количественные математические оценки физических процессов в целом и, в частности, в электричестве, в конце XVIII в. являются доминирующими при анализе явлений и установлении закономерностей. Английский физик и химик Генри Кавендиш (1731–1810) начал исследования в области электричества в 1771 г., которые закончились установлением обратной пропорциональности между силой электрического взаимодействия и квадратом расстояния, повторив результаты (1760) Д. Бернулли и (1776) Дж. Пристли. Г. Кавендиш открыл влияние среды на емкость конденсаторов и вычислил значения диэлектрических постоянных для некоторых веществ. В 1785 г. французский физик Шарль Огюст Кулон (1736–1806) опытным путем с помощью изобре-

тенных им крутильных весов установил зависимость силы взаимодействия между двумя неподвижными электрическими зарядами от их величины и расстояния между ними. На базе установленного закона, который получил название закона Кулона, он сделал вывод об отсутствии электризации в середине проводников. Эта работа Кулона подготовила основу для последующих теоретических исследований в области электро- и магнитостатики.

К концу XVIII в. уже существовали основные представления об электричестве, были изучены важнейшие явления электростатики и выполнено ее математическое обоснование.

Особое значение имело открытие российским академиком Францем Эпинусом (1724–1802) явления электростатической индукции, на основе которого он построил теорию электрического дальнего действия. Это открытие удостоено высшей премии Парижской академии наук [9].

Магнитные явления до конца первой четверти XIX века рассматривались вне всякой связи с электрическими явлениями. В трактате «Опыт теории электричества и магнетизма», изданном Петербургской Академией наук в 1759 г., Ф. Эпинусом по сути были рассмотрены все главные явления, являющиеся основой магнитостатики: силы отталкивания и притяжения, явления индуктивного намагничивания, понятие о саморазмагничивании поверхности магнита. Ф. Эпинус предложил методы создания искусственных магнитов, пояснил образование магнитных спектров из железных опилок.

С началом XIX в. в центре внимания экспериментальной и теоретической физики находится электрический ток. Этому способствовали исследования в области химического анализа различных веществ с использованием электричества и появление новых электрических явлений, на которых базируются работы Дэви, – гальванические явления. Врачи в XVIII в. изучали действие электричества на живые ткани, используя электрические машины и атмосферное электричество. В 1786 г. Алоизий (Луиджи) Гальвани (1737–1798) – физик, физиолог, профессор анатомии Болонского университета, сделал открытие, которое положило начало новой эпохе в истории науки об электричестве. В своей работе «Трактат о силах электричества при мышечном движении», вышедшей в 1791 г., Гальвани приписал телам животных особый вид энергии. По его мнению, нервы и мускулы являются своеобразными обкладками лейденской банки. Однако итальянский физик Алессандро Вольта (1745–1827), продолжая опыты Гальвани, пришел к другому мнению. Он обратил внимание на то, что в опытах Гальвани присутствуют два металла, а потому считал, что источником электричества является контакт между ними. Исходя из этого, Вольта сделал устройство – первый электрический элемент, который состоял из цинковой и медной пластинок, разделенных тканью, пропитанной соленой водой или разбавленной кислотой. В 1775 г. он опубликовал описание устройства, получившего название «вольтовый столб», – цилиндрический столбик, состоящий из пары медь–цинк, разделенной влажными кружками ткани. В 1799 г. Вольта создал источник длительного электрического тока – прототип современного гальванического элемента.

Английский физик Беннет Абрахам (1750–1799) в 1787 г. изобрел электроскоп, используя в нем легкие золотые лепестки, и провел эксперимент, в котором при зарядке от вольтового столба через конденсатор лепестки расходятся. При разведении пластин конденсатора расхождение увеличивалось. Объяснение этого эффекта было осуществлено значительно позже, оно заключалось в увеличении потенциала при уменьшении емкости. Это явление убедительно доказывало, что оба рода электричества – в действительности одно и то же, поскольку обуславливают аналогичный эффект при использовании источников различного электричества.

В 1800 г. исследователи Уильям Николсон (1753–1815) и Антони Карлейль (1768–1840) открыли явление электролиза. Это было продолжение работ Г. Дэви, но имело чисто практический выход на изготовление мощного вольтового столба из 17 цинковых и 17 серебряных пластинок, проложенных смоченным в соленой воде картоном. С помощью такого умножителя напряжения, используя электроскоп, экспериментаторы показали, что серебряный конец столба заряжен отрицательно, а цинковый – положительно. При пропускании полученного от такого источника тока через воду был сделан вывод о распаде воды на водород и кислород и связи между собой электричества и «гальванизма». Стало возможным практически разложить воду, пропустив через нее разряд электрической машины.

После знакомства с информацией о работах Вольта российский исследователь Василий Владимирович Петров в 1800 г. создал в лаборатории Петербургской медико-хирургической академии батарею с 4200 цинковых и таким же количеством медных кружков. Опыты В. Петрова привели к открытию электрической дуги и ее практическому использованию для освещения и процесса плавления металлов. Также его работы внесли большой вклад в развитие науки об использовании электричества в медицине, биологии. В 1803 г. в книге «Известие о Гальвани-вольтовых опытах» В. Петров изложил результаты своих исследований.

Связь между электрическими и магнитными явлениями была установлена в 1820 г. Датский физик Ханс Эрстед (1777–1891) открыл магнитное поле, которое окружает электрический ток. Опыт Эрстеда положил начало новой ветви естествознания – учению о электромагнетизме.

Большое значение для дальнейшего развития электромагнетизма имели работы Доминика Араго (1776–1853). Исследуя магнитные и электрические явления, Д. Араго установил, что железные опилки, расположенные вблизи электрического тока, намагничиваются. Для усиления эффекта он придал проводнику с током форму соленоида для намагничивания железа

Андре Мари Ампер (1775–1836) в 1820 г. обнаружил взаимодействие токов и установил закон этого взаимодействия (закон Ампера). Он предложил называть это явление электродинамическим [10].

Это было основанием для возникновения нового понятия «электродинамика». Возникновение электродинамики совпадает с созданием первых гальванометров, работа которых базируется на законах Ампера. Пользуясь этим прибором, Ампер впервые ясно и безоговорочно установил единство электричества и магнетизма.

В 1821 г., почти в то время, когда Эрстед, Араго и Ампер проводили свои опыты, подтверждая единство электричества и магнетизма, немецкий физик Томас Зеебек (1770–1831) показал, что в замкнутом круге, состоящем из проводников различных металлов, возникает электродвижущая сила при условии, если места контактов имеют разные температуры. Первые опыты были с висмутом и сурьмой. Во время опытов было подмечено действие на магнитную стрелку при нагревании контактов рукой. Явление было названо «термомагнетизмом». В дальнейших опытах оказалось, что при нагревании в металлах возникает ток. Результатом многочисленных опытов стало установление факта, что электродвижущая сила термоэлемента зависит от разницы температур спаев и вещества, из которого создан термоэлемент. Французский физик Антуан Сезар Беккерель (1788–1878), исследуя действие термоэлементов, наблюдал, что для термопары медь–железо в пределах температур 0–140 °C значение ЭДС не меняется, а при повышении температуры до 300 °C стремится к нулю. При увеличении температуры возникает инверсия термоэлектричества (изменение направления тока) [11].

Украинский физик Михаил Петрович Авенариус (1835–1895) показал, что график зависимости ЭДС термопары может иметь форму параболы с вершиной в точке инверсии. Свои работы в области термоэлектричества М. Авенариус подытожил в магистерской диссертации «О термоэлектричестве» [12].

Термин «потенциал» перешел из математики, его впервые ввел в математическую теорию электричества и магнетизма в 1828 г. английский ученый Дж. Грин (1793–1841).

В 1834 г. французский ученый Жан Пельтье (1785–1845) открыл явление, прямо противоположное явлению Т. Зеебека. Им было установлено, что при прохождении тока в цепи, которая состоит из различных металлов, в местах спаев в зависимости от направления тока выделяется или поглощается определенное количество теплоты [13].

Английский физик Уильям Томсон (Кельвин) (1824–1907) в 1856 г. установил зависимость между коэффициентом Пельтье и коэффициентом термоЭДС [14].

В конце XIX в. в результате многочисленных исследований Кавендиша, Петрова, Дэви, Беккереля были сделаны выводы относительно законов проводимости проводников первого рода: проводимость уменьшается с повышением температуры; проводимость зависит от природы проводника; проводимость зависит от геометрических размеров проводника. Однако этих выводов, как оказалось, было недостаточно для установления общих законов электрического тока.

Большое теоретическое и практическое значение имело преобразование электричества в тепло. Отправным пунктом стало открытие электрического сопротивления. Немецкий физик Георг Ом (1787–1854) в 1836 г. впервые ввел это понятие, ставшее третьим после напряжения и силы тока научным элементом основного количественного соотношения в теории электрического тока. В 1826 г. вышла в свет его работа «Определение закона, по которому металлы проводят электричество», в которой сформулирован закон, в дальнейшем названный его именем. Этот закон Ом вывел не только на базе экспериментальных данных, а и пользуясь аналогией между тепловыми и электрическими явлениями и процессами.

Как известно из исторических источников, современники не сразу оценили значение работ Ома. Закон Ома получил признание лишь после опубликования в 1847 г. работы Густава Кирхгофа (1824–1887, немецкий физик) «О разветвлении тока» и после работ Эмилия Христиановича Ленца (1804–1865) и Германа Людвиг Фердинанта Гельмгольца (1821–1894), которые показали, что закон Ома справедлив не только для токов гальванических элементов, но и для переменных токов. Закон Ома полностью подтвердился на практике при расчете сопротивлений проводников, соединенных последовательно и параллельно, а также при смешанном способе соединения источников тока. Используя закон Ома для измерения сопротивлений проводников, Гальм Уитсон (1802–1875, английский физик) в 1844 г. предложил свой метод, известный под названием «мостик Уитсона». Как известно, эта схема построена на принципе разветвления тока. В 1841 г. методом компенсации, основанном этом принципе, Пегендорф провел измерения ЭДС. Основываясь на законе Ома, Кирхгоф в 1845 г. обобщил его в виде двух правил (законов), которые незаменимы в современной практике анализа процессов в разнородных разветвленных цепях. Опыт Эрстеда повторил Ауген Артур де ла Рив (1801–1873, швейцарский физик), используя мультипликатор, предложенный Иоганном Швейгером (1779–1857, немецкий физик), что позволило выявлять слабые токи. В дальнейшем была проведена серия уникальных опытов, которые углубляли знания о взаимосвязи электрических и магнитных явлений. Одно из первых открытий в этой серии принадлежит французским физикам Жану Био (1774–1862) и Феликсу Савару (1791–1841), которые выявили наличие магнитного поля проводника с током и вывели формулу, позволяющую определить напряженность этого поля (закон Био–Савара).

Открытие электромагнитной индукции было закономерным результатом более десятилетней работы английского физика Майкла Фарадея (1791–1867).

В частности, выдающимся экспериментальным достижением Фарадея в 1821 г. явилось создание первого электродвигателя с непрерывным вращением магнита вокруг проводника с током. В 1831 г. М. Фарадей открыл явление электромагнитной индукции. Он вывел законы возникновения и количественного определения величин ЭДС индукции, описал получение индукционного тока во вторичной катушке при размыкании и замыкании электрической цепи с первичной катушкой, т.е. возникновение или прерывание тока в этой катушке. Среди замыслов Фарадея было желание проверить свою основную гипотезу, что возникновение индукционного тока при изменении магнитного поля является следствием перемещения катушки с током относительно катушки без электричества, а также возможность возникновения индукционного тока в катушке, если переключить в ней постоянный магнит. Опыты убедительно подтвердили предсказания М. Фарадея, а открытие он назвал магнитоэлектрической индукцией. Выдающуюся роль в дальнейшей разработке законов электромагнитной индукции сыграл российский физик, академик Эмилий Христианович Ленц (1804–1865) [15].

Особенно велики его заслуги в исследовании явлений электромагнетизма. Большое значение с точки зрения взаимосвязи физических явлений имеет открытие опытным путем в 1841 г. теплового воздействия электрического тока. Ленц установил, что количество теплоты, выделяющейся при прохождении тока по проводнику, прямо пропорционально величине этого тока. Открытое английским физиком Джеймсом Прескоттом Джоулем (1818–1889) явление после классических измерений Ленца, которые были представлены в Петербурге в 1842 г., получило статус одного из важнейших законов физики, вошедший в науку под названием закона Джоуля–Ленца.

В 1851 г. Майкл Фарадей опубликовал свое исследование «Физические характеристики магнитных силовых полей».

Выдающимся продолжателем работ Фарадея был английский физик Джеймс Клод-Максвелл (1831–1879). Научная деятельность Максвелла охватывает ряд проблем молекулярной физики, оптики, механики, теории упругости. Главный вклад в науку совместно с кинетической теорией газов Максвелл сделал в области электромагнетизма. Если Фарадей дал первое обоснование учению об электромагнитном поле, то Максвелл, продолжая работы Фарадея, разработал теорию электромагнитного поля. Идеи Фарадея Максвелл изложил математическим языком, поскольку был выдающимся математиком.

В 1864 г. Максвелл предложил свою «динамическую теорию электромагнитного поля», в которой теоретически заметил, что электромагнитное возмущение распространяется в пространстве со скоростью света. Эти исследования обобщены в его работе «Трактат об электричестве и магнетизме», который опубликован в 1873 г., где доказано, что среда, которую изучал Фарадей, действительно существует и в ней можно построить периодическую переменную напряженность электрического и магнитного полей, которым присущи все свойства волн. Кроме этого, ученый обосновал существование электромагнитных волн, распространяющихся со скоростью света. Это позволило однозначно установить связь света и электромагнетизма.

Математическим отражением теории Максвелла является его знаменитая система уравнений. А физическая гипотеза Максвелла о том, что магнитное поле создается током не только при движении зарядов в проводнике, а и при любом изменении электрического поля, является фундаментальной. Закон, установленный Максвеллом, связал скорость изменения в определенном месте электрического поля – так называемый ток смещения – с напряженностью созданного этими изменениями магнитного поля и наоборот. Принципиальным выводом в теории Максвелла относительно электромагнетизма является сочетание света и электромагнитного поля [16; 17].

Среди многочисленных работ выдающегося физика-теоретика Альберта Эйнштейна (1879–1955) есть статьи по электромагнетизму, в частности, «К электродинамике движущихся сред», которая посвящена формулировке теории относительности.

Российскому физiku, профессору Московского университета Александру Григорьевичу Столетову (1839–1896) принадлежат фундаментальные исследования в области магнетизма и фотоэлектрических явлений. Им выполнены важные исследования по электростатике. В докторской диссертации «Исследование о функции намагничивания мягкого железа» (1872) впервые доказано, что с увеличением напряженности намагничивающего поля магнитная восприимчивость железа достигает максимума, с уменьшением – уменьшается. Эти исследования способствовали как научным оценкам свойств ферромагнетиков, так и практическому использованию при конструировании электрических машин. О.Г. Столетов – автор наиболее точного метода определения соотношения электромагнитных и электростатических единиц. В 1881 г. на Международном конгрессе физиков А.Г. Столетов внес предложение об установлении единицы измерения сопротивления – Ом.

Следующим шагом в развитии электромагнетизма было создание ряда теорий, способствовавших пониманию основных свойств процессов и закономерностей в веществе при прохождении тока и явлений, которые вызывают магнитные свойства вещества. Теория, объясняющая различные свойства вещества, существование подвижных в ней носителей зарядов, в частности электронов, была названа электронной. Основы классической теории металлов заложил немецкий физик Пуаль Друде (1863–1906) в работе «К электронной теории металлов», которую он опубликовал в 1900 г. По этой теории электроны в металле образуют своеобразной газ, описание которого совпадает с законом идеального газа. В 1905 г. нидерландский физик Хендрик Лоренц (1853–1928) развил идеи П. Друде, использовав статику Максвелла–Больцмана [18].

*Этапы развития электрохирургии.* Первой электрической энергией, используемой в медицине, был постоянный ток. После открытия тепловых свойств электрического тока Александр Эдмон Беккерель изобрел инструмент (электронож) для прижигания тканей [19; 20].

С этого периода начинается история электрохирургии. В 1854 г. хирург *Albrecht Theodor Middeldorpf* (1824–1868) опубликовал первую монографию о применении электрического тока в хирургии и назвал этот метод «*galvanocautery*». В качестве источника тока использовались цинк-платиновые батареи. Предложенным способом можно было выполнять рассечение тканей и коагуляцию кровеносных сосудов. *A. Middeldorpf* разработал такие важные электрохирургические инструменты, как электронож и петля для удаления полиповидных опухолей. Эти инструменты – предки современного электрохирургического оборудования [21; 22]. *M. J. Roberts* [23] с помощью разработанных инструментов выполнял электроостеотомию.

В 1891 г. Алекс д'Арсонваль обнаружил, что прохождение переменного тока большой частоты через ткани организма приводит к тепловому воздействию. В начале XX в. он продемонстрировал, что радиочастотные токи могут нагревать живую ткань без болезненной стимуляции мышц и нервов. С этого периода началась современная электрохирургия [24].

В этом же 1891 г. в декабрьском номере журнала «*Electricalengineer*» была опубликована статья инженера Н. Теслы о тепловом эффекте, который он наблюдал при пропускании через человеческое тело переменных токов высокой частоты, получаемых с помощью сконструированного им генератора. Впервые им показано, что токи высокой частоты не обладают раздражающим действием, несмотря на высокое напряжение, и хорошо переносятся человеческим организмом, в то время как токи такой же силы, но более низкой частоты, являются для него опасными [25; 26].

В 1905 г. Цейнек использовал тепловой эффект тока для электрокоагуляции. В 1907 г. Форест с помощью аппарата д'Арсонваль и электрода (иглы) с изолированной рукояткой произвел бескровное рассечение тканей. Электрическая дуга производила бескровное рассечение тканей. Поскольку игла при этом не раскалялась, ей дали название «кальт-каутер» (холодного каутера), а метод назвали форестизацией. Регулировка глубины воздействия при этом была затруднительной – поверхностные слои обугливались раньше, чем разогревались более глубокие.

В 1907 г. *Doyen* предложил подкладывать под пациента металлическую пластину (пассивный электрод). Понятие электрокоагуляции как метода лечения ввел в 1909 году тот же *Doyen* [27; 28].

*Czerny* в 1910 г. успешно произвел рассечение тканей высокочастотным током [29].

В конце 1920-х гг. гарвардский физик и ботаник *Bovie* производит первую коммерческую машину, способную резать и коагулировать ткани человека, и электрохирургический инструмент для этих целей. Доктор Харви Кушинг, нейрохирург в Бостоне, популяризировал это электрохирургическое устройство, выполняя хирургические процедуры, которые ранее считались невозможными. В 1926 г. доктор Кушинг удалил остатки сосудистой миеломы. Результаты этой и других процедур были опубликованы в 1928 г. [30] и дали начало современной клинической электрохирургии.

Разработка хирургических электрокоагуляционных устройств началась в 20–30 гг. XX в. Первые генераторы, называемые аппаратами *Bovie*, представляли собой металлические шкафы, вес которых достигал 200 кг, потребляемая мощность 4000 Вт, напряжение для работы устройств 380 В. В медицинских учреждениях их начали широко применять его с 1960 г. До 1968 г. производство их было неизменным [31–34]. С 1935 г. начались разработки биполярного метода электрокоагуляции [35]. В 1940-х гг. американский нейрохирург Джеймс Гринвуд внедрил биполярную технологию [36]. В конце 40-х хирургом С.М. Шамраевским был предложен метод биполярной коагуляции кровеносных сосудов высокочастотным током [37].

Современная хирургическая практика предлагает большое количество электрокоагуляторов различных модификаций, удобных в применении, безопасных, экономичных, работающих в контактных и бесконтактных режимах. На мировом рынке представлены многочисленные высокочастотные электрохирургические аппараты, выпускаемые такими ведущими производителями, как «*Valleylab*», подразделение корпорации «*Covidien*» (США); «*Ethicon*», подразделение компании «*Johnson&Johnson*» (США); *KLS Martin Group* и *ERBE* (Германия) и др. Выпускаются подобные аппараты и в Украине, например, ЗАО «НИИ прикладной электроники» (Киев) [38].

В Институте электросварки им. Е.О. Патона (ИЭС) Национальной академии наук Украины в тесном сотрудничестве с ведущими медицинскими организациями с 1996 г. по настоящее время ведутся комплексные исследования по применению токов высокой частоты в хирургической практике. Разработаны и внедрены современные электрохирургические аппараты и инструментарий. Одним из приоритетных направлений научных исследований ИЭС является продвижение новых технологий и оборудования для соединения биологических тканей сваркой в следующие области хирургии: общую, абдоминальную, пульмонологию, проктологию, оториноларингологию, офтальмологию и др. Идеальным вдохновителем и руководителем этих работ является академик Борис Евгеньевич Патон [39].

Исследования и разработки современных ученых различных специальностей направлены на улучшение качества оперативных вмешательств и увеличение объемов внедрения усовершенствованных электрохирургических технологий и аппаратуры.

**Заключення.** Обзор литературных источников показывает, что основы современных электрохирургических методов базируются на открытиях многих поколений выдающихся исследователей-экспериментаторов, теоретиков, в т.ч. врачей. Следует отметить, что известные ученые-медики прошлого стояли у истоков развития не только электротехники, но и сварки. Сварочные технологии в свою очередь способствовали развитию науки и техники в целом. Они успешно применяются в медицине.

Основные усилия ученых разных стран в настоящее время направлены на исследования и разработку усовершенствованных электрохирургических технологий и аппаратуры для улучшения качества оперативных вмешательств.

В Институте электросварки им. Е.О. Патона (ИЭС) Национальной академии наук Украины в тесном сотрудничестве с ведущими медицинскими организациями с 1996 г. по настоящее время ведутся комплексные исследования по применению токов высокой частоты в хирургической практике. Разработаны и внедрены современные электрохирургические аппараты и инструментарий. Одним из приоритетных направлений научных исследований ИЭС является продвижение новых технологий и оборудования для соединения биологических тканей сваркой в различных областях хирургии.

#### ЛИТЕРАТУРА

- O'Connor, J.L. William T. Bovie and electrosurgery / J.L.O'Connor and D.A. Bloom // *Surgery*. – 1996. – 119 (4). – P. 390-6.
- Касперський, А.В. Вибрані питання історії електрорадіотехніки : навчальний посібник / А.В. Касперський, І.Т. Богданов. – К. : НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2009. – 212 с.
- История медицины / П.Е. Заблудовский [и др.]. – М. : Медицина, 1981. – 352 с.
- Філософський енциклопедичний словник. – Київ : Абрис, 2002. – 744 с.
- Fawwaz T. Ulaby. Fundamentals of applied electromagnetics / Fawwaz T. Ulaby and Umberto Ravaioli. – Seventh Edition. – Pearson Education, Inc. – 2015. – 504 p.
- Касперський, А.В. Вибрані питання історії електрорадіотехніки. Розділ 2. Електрика і магнетизм / А.В. Касперський, І.Т. Богданов, Л.В. Мініч. – Київ : НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2008. – 82 с.
- Храмов, Ю.А. Дюфе Шарль Франсуа (DUFAY Charles Francois de Cisternay) / Ю.А. Храмов // *Фізика : біограф. справ.* / под ред. А.И. Ахизера. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М. : Наука, 1983. – 400 с.
- Кузнецов Б.Г. История энергетической техники. – М.-Л., Науч. тех. изд., 1937. – 312 с.
- Касперський, А.В. Історичні передумови та розвиток науки про електрику і магнетизм до XIX століття // *Історія української науки на межі тисячоліть : зб. наук. праць* / А.В. Касперський, А.А. Лоха, І.Т. Богданов ; відп. ред. О.Я. Пилипчик. – Київ, 2008. – Вип. 33. – С. 99–106.
- Дягилев, Г.Д. Из истории физики / Г.Д. Дягилев. – М. : Учгиз. 1981. – 184 с.
- Григорьев, В.И. О физиках и физике / В.И. Григорьев. – 2-е изд. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 264 с.
- Клецька, Т.С. Засновники Київського фізико-математичного товариства: Михайло Петрович Авенаріус (1835–1895) / Т.С. Клецька // *Історія науки і техніки*. – 2018. – Т. 8, вип. 1. – С. 23–30.
- Фреїк, Д.М. Досягнення і проблеми термоелектрики: Історичні аспекти (Огляд) / Д.М. Фреїк, Л.І. Никируй, О.С. Криницький // *Фізика і хімія твердого тіла = PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE*. – Т. 13, № 2 (2012). – С. 297–318.
- Томсон, Вільям // *Енциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона* : в 86 т. – СПб., 1890–1907.
- Касперський, А.В. Історія розвитку електромагнетизму від Гальвані до Фарадея // *Історія української науки на межі тисячоліть : зб. наук. праць* / А.В. Касперський, Л.В. Мініч, А.А. Лоха ; відп. ред. О.Я. Пилипчик. – Київ, 2007. – Вип. 31. – С. 100–106.
- Maxwell, J.C. A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field / J.C. Maxwell. – *Phil. Trans.*, 166, 1865. – P. 459–512. – (Reprinted in *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, Vol. 1, New York, Dover, 1952, pp. 528–597).
- Dipak, L. Sengupta. Maxwell, Hertz, the Maxwellians, and the Early History of Electromagnetic Waves / Dipak L. Sengupta and Tapan K. Sarkar // *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. – 2003. – Vol. 45, No. 2. – P. 13–19.
- Касперський, А.В. Розвиток вчення про електрику і магнетизм від М.Фарадея до сучасності (історичний огляд) / А.В. Касперський, І.Т. Богданов, Н.М. Зазимко // *Зб. наук. праць Бердян. держ. пед. ун-ту. Пед. науки*. – 2008. – № 2. – С. 138–145.
- Stillings, D. John Wesley: philosopher of electricity / D. Stillings // *Med Instrum*. – 1973. – 7(5). – P. 307.
- Пахлеваний, В.Г. Электрокоагуляционный гемостаз, преимущества и недостатки / В.Г. Пахлеваний, С.А. Колесников // *Науч. ведомости БелГУ. Сер. Медицина. Фармация*. – 2016. – № 5 (226), вып. 33. – С. 5–9.
- Брехов, Е.И. История развития электрохирургии до середины XX века / Е.И. Брехов, С.И. Аксенов // *Хирургия*. – 2008. – № 4. – С. 8–14.
- Wicker, P. Electrosurgery. Part I : The history of diathermy / P. Wicker // *Br. J. Theater Nursing*. – 1990. – Vol. 27 (8). – P. 6–7.
- Roberts, M.J. The electro-osteotome. A new instrument for the performance of the operation of osteotomy / M.J. Roberts. – New York : J.J. O'Brien, 1883. – 8 p.
- d\_Arsonal, A. Action physiologique des courants alternatifs a grande frequence / A. d\_Arsonal // *Arch Physiol Porm Pathol*. – 1893 (25). – P. 401.
- Долецкий, С.Я. Высокочастотная электрохирургия / С.Я. Долецкий, Р.Л. Дробкин, А.И. Ленюшкин. – М. : Медицина, 1980. – 198 с.
- Шалимов, М.П. Сварка вчера, сегодня, завтра / М.П. Шалимов, В.И. Панов. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2006. – 250 с.

27. Clark, W.L. Oscillatory desiccation in the treatment of accessible malignant growths and minor surgical conditions. A new electrical effect / W.L. Clark // J. Adv. Ther. – 1911. – Vol. 29 (2). – P. 169–180.
28. Cushing, H. Electro-surgery as an aid to the removal of intracranial tumors. With a preliminary note on a new surgical-current generator by W. T. Bovie / H. Cushing, W.T. Bovie. – Surgical Publishing Company, 1928. – 34 p.
29. Белов, С.В. Исследование принципов электрохирургических воздействий и разработка научных основ проектирования аппаратов и устройств для высокочастотной электрохирургии : дис. ... д-ра. тех. наук : 05.11.17 / С.В. Белов. – М., 2004. – 253 л.
30. Cushing, H. B.W., Electrosurgery as an aid to the removal of intracranial tumors / H. Cushing // Surg Gynecol Obstet. – 1928 (47). – P. 751–84.
31. Schwaitzberg, S. Evolutions and revolutions in surgical energy. The fundamental use of surgical energy (FUSE) manual / S. Schwaitzberg ; ed. F.P. Feldman LS, Jones DB. – Springer, 2012.
32. Использование современных электрохирургических инструментов в практической хирургии / Д.П. Грицаенко [и др.] ; под ред. В.В. Гриценко. – СПб. : СПбГМУ, 2005. – 43 с.
33. Семенов, Г.М. Современные хирургические инструменты / Г.М. Семенов. – СПб. : Питер, 2006. – 345 с.
34. Давыдова, С.В. Оперативная эндоскопия, хирургические энергии: электрокоагуляция, аргоноплазменная коагуляция. Радиоволновая хирургия, эндоклипирование / С.В. Давыдова, А.Г. Федоров. – М. : РУДН, 2008. – 102 с.
35. История развития физических методов гемостаза в хирургии / Н.Н. Малиновский [и др.] // Хирургия. – 2006. – 4. – С. 75–77.
36. Wound healing of skin incisions produced by ultrasonically vibrating knife, scalpel, electrosurgery, and carbon dioxide laser / R. Hambley [et al.] // J Dermatol Surg Oncol. – 1988. – 14 (11). – P. 1213–7.
37. Шахраевский, С.М. Современные проблемы электрохирургии / С.М. Шахраевский. – М. : Медгиз, 1950. – 221 с.
38. Сварка, резка и термическая обработка живых тканей // Б.Е. Патон [и др.] // Автоматическая сварка. – 2013. – № 10–11. – С. 135–146.
39. Патонмед: Апараты для зварювання живих тканин [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://patonmed.com.ua/uk/golovna>.

Поступила 11.06.2021

## HISTORICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF ELECTROSURGERY

A. DUBKO, N. CHVERTKO, A. LEBEDEV, A. DUDAN

*The main sources of the development of modern electrosurgical methods, which are in ancient times, as well as the stages of the development of electrosurgery from the sources of its occurrence to the current state, are considered. The basis of these methods is the phenomenon of electromagnetism. A significant contribution to the discovery and study of this phenomenon was made by outstanding researchers, experimenters and theorists of all peoples of the world. It is noted that in the 18th century, doctors studied the effect of electricity on living tissues using electric machines and atmospheric electricity, and by the end of the 18th century basic ideas about electricity had already been created. The most important phenomena of electrostatics were studied and its mathematical justification was performed. At the beginning of the 19th century, electric current was in the focus of experimental and theoretical physics, and the phenomena of the conversion of electricity into heat were of particular theoretical and practical importance. Today on the world market there are numerous high-frequency electrosurgical devices. One of the priority areas of research at the Institute of Electric Welding. E.O. Paton is the introduction of new technologies and equipment for joining biological tissues by welding in medicine.*

**Keywords:** *electric current, electromagnetism, medical practice, electrical engineering, biological tissues, electrosurgery.*