

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА: 200-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ ВЕЛИКОГО ОТКРЫТИЯ

Намитоків К.К., д.т.н., проф.

Харьковская государственная академия городского хозяйства

Украина, 61002, Харьков, ул. Революции, 12, ХГАГХ, кафедра светотехники и источников света
Тел. (0572) 45-99-51

Клименко Б.В., д.т.н., проф.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ", кафедра электрических аппаратов
Тел. (0572) 40-02-81, факс (0572) 40-06-01, E-mail: kbv@kpi.kharkov.ua

Описана історія відкриття електричної дуги В.В. Петровим. Розглянуто основні науково-технічні наслідки цього великого відкриття.

Описана история открытия электрической дуги В.В. Петровым. Рассмотрены основные научно-технические последствия этого великого открытия.

В самом начале XVIII века Изюмский полковник Ф.В. Шидловский (не предок ли нынешнего вице-президента НАНУ А.К. Шидловского?) построил в самом центре Харькова на территории нынешнего архиерейского подворья большой двухэтажный дом. За воинские успехи полковник в 1710 г. был произведен в генералы, но за какую-то провинность его харьковское имущество было передано знаменитому князю Кантемиру, который в 1726 г. продал дом епископу Белгородскому Епифанию Тихорскому, совершившему эту покупку для обустройства в юном Харькове (всего 70 лет!) средней духовной школы – Коллегиума. Другим, как теперь говорят, спонсором Харьковского Коллегиума был командующий войском на Украине князь М.М. Голицын, который обеспечил материальную базу этого заведения, подарив ему одно село и четыре хутора [1, 2].

Харьковский Коллегиум был весьма демократичным учебным заведением – в нем учились дети не только дворянства и духовенства, но и представители небогатого купечества и даже бедноты. Демократический дух сочетался с высоким уровнем образования, который обеспечивали высококвалифицированные преподаватели – достаточно вспомнить Г.С. Сковороду, который преподавал там гуманитарные дисциплины в течение почти 10 лет. Не случайно поэтому, что из стен этого провинциального учебного заведения вышло немало известных литераторов, ученых и педагогов. Среди выпускников Харьковского Коллегиума были основатель Харьковского университета В.Н. Каразин, известный писатель, переводчик "Илиады" Н.И. Гнедич, крупный ученый-историк и литературный критик, ректор Московского университета М.Т. Каченовский [3] и многие другие. Одним из выдающихся выпускников Харьковского Коллегиума был и Василий Владимирович Петров (1761-1834) – профессор, член Петербургской Академии Наук, главным делом жизни которого оказалось открытие и исследование электрической дуги.

Несмотря на то, что открытие электрической дуги и первые опыты с дугой состоялись через 17 лет после завершения учебы в Харьковском Коллегиуме и учебы в столичных учебных заведениях (продолжение учебы в столицах и за рубежом было в те времена нормой для тех, кто хотел совершенствовать свое об-

разование), есть веские основания полагать, что свои первые знания по электричеству В.В. Петров получил именно в Харькове.

Известный историк Слободской Украины Д.И. Багалея приводит цитату из воспоминаний В.Н. Каразина: "Колегіум містився у великому кам'яному будинкові Шидловського. Що в Колегіумі займалися науками ще у царювання цариці Анни, про се свідчить лист академіка Юнкера до президента Академії барона Корфа, де він хвалить освіту тодішнього ректора і префекта Колегіума і підтримує прохання їх о тім, щоб їм вислано було електричну машину і воздушний насос". Если учесть, что правление Анны приходилось на 30-е годы XVIII века, и предположить (с высокой степенью вероятности), что запрос академика Юнкера был удовлетворен, то во время учебы в Харьковском Коллегиуме В.В. Петров наверняка наблюдал опыты с электричеством и эти опыты не могли не запасть в душу пытливого юноши.

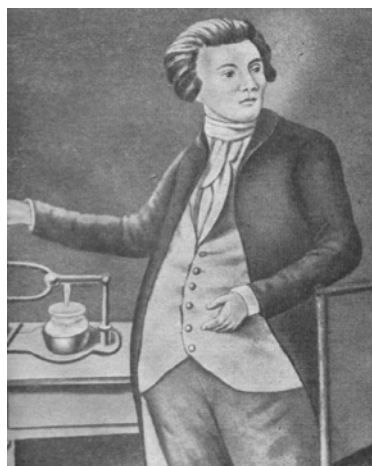


Рис.1 Предполагаемый портрет В.В. Петрова

Но перенесемся в 1802 год. Василию Владимировичу 41 год, он многого достиг: в свои довольно молодые годы уже профессор физики и математики Медико-Хирургической Академии в Петербурге. Его лекции по физике пользуются огромным успехом – на них приходят не только студенты Академии, но и учащиеся других учебных заведений Петербурга, да и не только учащиеся. Педагогическому успеху

В.В. Петрова в немалой степени способствовали оригинальные опыты, которыми сопровождалась его лекция. А опыты были на чем проводить – физический кабинет, который он создал, по своей оснащенности был не только лучшим в России, но и, пожалуй, во всей Европе того времени. Пополнением оборудования физического кабинета В.В. Петров занимался на протяжении всей своей 40-летней деятельности в Медико-Хирургической Академии, причем, наряду с покупным оборудованием, кабинет пополнялся приборами, сделанными лично В.В. Петровым, либо по его проекту. В 1800 г. он построил небольшую электрическую батарею, на которой проводились демонстрационные опыты по электричеству. А спустя год по его проекту была построена самая крупная в мире батарея, состоявшая из 4200 медных и цинковых кружков (рис. 2), с помощью которой В.В. Петров выявил множество явлений, которые позже легли в основу ряда направлений быстро развивающейся электротехники. Во время одного из опытов с батареей была открыта электрическая дуга. Свое открытие В.В. Петров обнародовал 17 мая 1802 г. «в присутствии медицинской коллегии и многих именитых особ», а в 1803 г. результаты опытов он опубликовал в своем знаменитом научном трактате «Известие о гальвани-вольтовых опытах» (рис. 3). В этой книге он описывает выдающиеся для того периода физические и химические исследования в области электрических явлений, процессов окисления металлов и восстановления их из окислов под воздействием электрического тока, свечения фосфора, плавикового шпата, самосветящихся веществ органического происхождения, предложил способы пропитки маслом дерева, впервые приводит классификацию веществ по электропроводящим свойствам, разделяя их на изоляторы, «дурно» проводящие (читай полупроводники), «хорошо» проводящие (читай проводники), указывает на важность изоляции проводников, зависимость силы тока от площади поперечного сечения проводника и т.д.

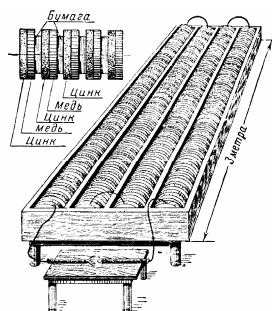


Рис. 2 Конструкция батареи, состоящей из 4200 медно-цинковых элементов, с помощью которой В.В. Петров открыл электрическую дугу

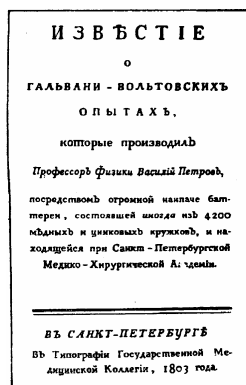


Рис. 3 Титульный лист трактата В.В. Петрова

Среди многих научных достижений В.В. Петрова все же самым значимым является открытие электрической дуги. Научно-технические последствия этого открытия столь разнообразны и значительны, что их рассмотрение по существу оказывается невозможным в одной статье и заставляет ограничиться лишь указанием на них. Прежде всего, заметим, что эти последствия проявились в двух взаимосвязанных аспектах – научном и производственно-техническом.

Электрическая дуга как объект и средство научных исследований

В научном плане это открытие электрической дуги стимулировало развитие фундаментальных исследований нового четвертого состояния материи – плазмы. В.В. Петровым впервые была показана принципиально новая возможность искусственного (руко-творного?) получения с помощью электрической дуги сверхвысоких температур, достижение которых не представлялось возможным никакими другими известными в то время способами. Тот факт, что электрическая дуга может существовать в широком диапазоне изменения тока (от единиц до сотен тысяч ампер) при относительно низких (от десятков вольт и выше) напряжениях, в любой газовой среде, практически при любых давлениях, при разных сочетаниях материала электродов и т.д. предоставил ученым мощное средство исследования многих неизвестных явлений, связанных как с процессами в самих разрядах и в плазме, так и с их взаимодействием с веществами во всех агрегатных состояниях (твердом, жидком, газообразном). Эти процессы оказались настолько сложными и глубокими, что их изучение до сих пор продолжается интенсивно, все более обогащая физическую науку новыми открытиями.

Рассматривая инженерно-технические и производственные аспекты, так или иначе связанные с электрической дугой, следует разделить два противоположные ее проявления – как полезное явление, широко и разнообразно применяемое в практике, и как вредное явление, с которым приходится бороться. То есть, если в первом случае стремятся получить устойчивую и управляемую электрическую дугу, то во втором, наоборот, возникает необходимость ее подавления. Кратко укажем на них.

Общей основой применения электрической дуги в машиностроении и металлургии является возможность с ее помощью эффективного преобразования электрической энергии в тепловую, возможность достижения высоких температур. При этом важным фактором является «управляемость» этими процессами относительно простыми способами, а также возможность автоматизации и использование робототехнических систем. Равновесная (термическая) дуга, возбуждаемая в условиях повышенных давлений (атмосферного и выше) обладает достаточно высокой энтальпией, среднемассовая температура ее ($T_0 \approx T_i \approx T_c$) достигает значений порядка 10^4 К и выше. В отличие от такой дуги в разреженных газах возникает дуга, в которой имеет место большой отрыв электронной температуры, т.е. $T_e > T_i \approx T_0$. Поэтому области их технологического применения существенно различны.

Электрическая дуга как источник света

В.В. Петров, исследуя электрические разряды между двумя проводниками, изолированными друг от друга, впервые отметил «светоносное явление», которое сопровождает разряды. Хотя целенаправленное, утилитарное использование электрической дуги как источника света, было практически осуществлено П.Н. Яблочковым значительно позже (в 1876 г.), нет сомнения, что обнаруженное В.В. Петровым «светоносное явление» здесь сыграло свою роль. Это, конечно, несколько не уменьшает заслуг П.Н. Яблочкова, как создателя первых дуговых свечей.

Значимость открытия В.В. Петровым электрической дуги, используемой в разнообразных формах в современных газоразрядных лампах, неопределима. Достоинством отметить, что в настоящее время около 2/3 всей генерируемой световой энергии в мире (на которую уходит почти 15 % всей вырабатываемой электрической энергии) приходится на газоразрядные лампы.

Электрическая дуга как средство выполнения неразъемных соединений металлов (электросварка)

Сегодня невозможно представить практически ни одну отрасль техники, которая не применяла бы электрическую дугу для выполнения разнообразных сварочных работ. При этом используется диапазон мощности дуговых разрядов - от нескольких ватт (микросварка) до десятков тысяч ватт. Процессы сварки осуществляются в различных газовых средах, под водой, под флюсом, свариваются различные по своим свойствам металлы и сплавы и в различных сочетаниях и т.д. Следует отметить, что в развитии электросварочной науки, техники и технологии выдающаяся роль принадлежит Институту Электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины. Впервые же электрическая дуга между угольными электродами была использована для сварки Н.Н. Бенардосом в 1882 г.

Электрическая дуга для резки и размерная обработка металлов

Электрическая дуга находит применение для резки (резки) металлов и сплавов наряду и в сочетании с газовой сваркой и обладает тем преимуществом, что не имеет практически ограничений, обусловленных теплофизическими свойствами обрабатываемых материалов. Производительность процесса достаточно высока, он легко управляем и может применяться при выполнении подводных работ. Электрическая дуга (ее разновидность – импульсная дуга повышенной частоты) используется и для размерной обработки металлов.

Электродуговая (плазменная) плавка металлов

Электрическая дуга широко используется в металлургии для переплава заготовок, рафинирования и легирования кусковых, порошковых и шихтованных материалов. Существуют мощные (сотни тысяч кВт) электродуговые печи разнообразных конструкций для плавки, переплава и производства специальных сплавов в больших объемах (кубометры) и массах (десятки тонн). Важным фактором и здесь выступает отсутствие практически ограничений по свойствам и состоянию обрабатываемых материалов (стали, цветные металлы, сплавы, тугоплавкие материалы, в том числе и нетокопроводящие). Созданы плазменно-дуговые печи для получения специальных прецизионных сплавов, для выращивания крупногабаритных монокристаллов, восстановления окислов, тугоплавких металлов и т.д. С помощью плазменно-дуговой обработки осуществляется и обратный процесс – диспергирование материалов (сплавов, окислов, карбидов, нитридов, боридов), используемых в порошковой металлургии, а также сфероидизация частиц различного гранулометрического состава (вплоть до ультрадисперсных порошков).

Электродуговая наплавка и восстановление деталей

Электрическая дуга используется для нанесения покрытий (наплавки) одних материалов на другие с

целью повышения прочностных характеристик, а также восстановления изношенных рабочих поверхностей деталей. Характеристики обрабатываемых поверхностей зависят от режимов дугового разряда и применяемых материалов, и при соответствующем их подборе можно достигнуть приемлемой чистоты поверхности и повышенной износостойкости.

Плазмотронная техника и технология

Развитие технологических процессов в машиностроении и металлургии на основе использования электрической дуги привело к созданию множества специальных устройств для формирования дуги, плазменно-дуговых струй с управляемыми пространственно-временными характеристиками, температурными и энергетическими параметрами. Созданы и успешно применяются различные конструкции плазмотронов для выполнения вышеуказанных и других процессов. Имеются плазмотроны мощностью от сотен ватт, создающие микроплазменные струи для прецизионных технологий, до сотен кВт с различными плазмообразующими газами, которые позволяют осуществить процессы, не выполнимые никакими другими способами.

Электрическая дуга в «КИБ»-технологии

Последние десятилетия успешно применяются тонкие (микронные) покрытия поверхностей специальными пленками из карбидов, нитридов, боридов, оксидов, оксинитридов и т.п. с целью придания особых свойств поверхности путем имплантации на ней ионов. В этой технологии используется вакуумная дуга для генерирования ионов. Разработана гамма таких установок, в частности типа «Булат» (в ХФТИ НАНУ), на которых реализуется эта технология для многих целей – упрочнение инструмента, зубоорудочная техника и т.д.

Электрическая дуга в плазменно-химической технологии

Как отмечалось выше, существует много форм электрической дуги. В частности, электрическая дуга может быть сформирована в разреженных газах. В этом случае плазма дугового разряда, как правило, является существенно неравновесной с сильным отрывом температур электронов от температур ионов, атомов и молекул. Следовательно, можно получить «холодную» плазму (т.е. с относительно малой средне-массовой температурой), но содержащую в достаточной концентрации относительно высокоэнергетичные электроны. В таких видах разрядов осуществляются многие химические процессы, которые традиционными способами не удается реализовать. Физической основой таких процессов является использование взаимодействий электронов с атомами и молекулами, приводящих к их возбуждению и активации, способствующих осуществлению «необычных» химических эндотермических реакций для получения различных элементов и соединений.

Для получения "горячей" плазмы с высокой средне-массовой температурой, которая требуется для осуществления высокотемпературных реакций, используются интенсивные дуговые разряды (постоянного, переменного, высокочастотного тока) при повышенных давлениях.

Успехи науки в этом направлении привели к тому, что в настоящее время формируется новая отрасль техники – плазмохимия.

Электрическая дуга в МГД-генераторах

В последние десятилетия ведутся интенсивные поиски новых способов генерирования электрической энергии. К ним относятся использование плазмы, текущей в магнитном поле, для генерирования холловских ЭДС между электродами, расположенными перпендикулярно полю и потоку плазмы. И здесь дуговые разряды могут использоваться, по крайней мере в двух направлениях: как «имитатор» некоторых процессов в МГД-генераторах, и как средство улучшения свойств их рабочего тела – плазмы.

Первое обусловлено тем, что ряд процессов на электродах и в приэлектродных областях МГД-генераторов аналогичны процессам, которые имеют место в дуговых разрядах. Например, при больших токах, снимаемых с МГД-генераторов, на их электродах появляются пятна с высокой плотностью тока, сопровождающиеся эрозией, а следовательно, «загрязнением» рабочего тела.

Второе обусловлено тем, что с помощью дугового разряда можно влиять на свойства рабочего тела – плазмы, например, повышать ее электропроводность.

Электрическая дуга в ракетостроении и космонавтике

Существуют и используются плазменные, ионные и дуговые электрические двигатели, которые в состоянии обеспечить в непрерывном и импульсном режимах достаточно большую тягу для управления летательными аппаратами. Одним из достоинств дугового реактивного двигателя является то, что в условиях космоса получение дугового разряда становится реальным путем преобразования солнечной энергии в электрическую с помощью солнечных батарей, состоящих из термоэлементов или фотоэлементов, так как для горения дуги требуется относительно низкое напряжение – десятки вольт. Дуговые реактивные двигатели могут черпать энергию непосредственно от солнца или же от другого, например, ядерного источника, установленного на космическом объекте.

После краткого рассмотрения различных сфер технологического применения электрической дуги укажем еще на одну "нетехнологическую" область ее проявления.

Электрическая дуга в коммутационных аппаратах.

Электрическая дуга в коммутационных аппаратах проявляется двояко – как полезное и как вредное явление. В первом случае электрическая дуга выступает как среда, в которой рассеивается электромагнитная энергия коммутируемой цепи при прерывании в ней тока.

Случаи вредного проявления электрической дуги наиболее часто наблюдаются при функционировании электрических коммутационных аппаратов, которыми оснащена вся электроэнергетика, электроавтоматика, бытовая техника, электротранспорт, суда и самолеты и т.д. И поскольку электрическая дуга может образовываться, начиная с относительно малых токов (десятые доли ампер) и малых напряжений (десятки вольт) до сверхтоков перегрузок и коротких замыканий, то число возможных случаев возникновения электрической дуги исчисляется миллионами в час. Поскольку электрическая дуга является высокотемпературным

теплоносителем, то ее действие на элементы аппаратов и, прежде всего, на их контактные системы может быть весьма вредным, разрушительным.

Для того, чтобы рационально использовать полезное действие дуги и уменьшить ее вредные последствия, необходимо уметь управлять процессами ее формирования, движения и гашения, которые являются одними из сложных проблем электроаппаратостроения и решаются по-разному для различных типов аппаратов. В этом отношении особенно сложным оказываются процессы гашения дуги при больших токах и токах короткого замыкания. Недопустимая затяжка горения дуги может привести не только к разрушению аппаратов, но и невыполнению их назначения, что чревато весьма опасными последствиями. Например, неотключение дуги (или затяжка во времени) автоматическими выключателями или предохранителями может привести к аварийным ситуациям в защищаемых токоприемниках и даже во всей электроэнергетической системе. Кроме этого, имеется опасность появления и вторичных эффектов, как пожары и взрывы.

В других (относительно редко встречающихся) случаях в электрических цепях электрическая дуга может появиться самопроизвольно при пробоях между токоведущими элементами. Такие случаи возможны при старении изоляции под воздействием внешних условий (влаги, пыли и т.д.) случайных и металлических перекрытий открытых электропроводках и т.п. Поскольку в этих случаях может образовываться открытая дуга, то ее воздействия могут иметь негативные последствия, особенно в условиях взрыво- и пожароопасных объектов. Хотя все это учитывается как при создании коммутационных аппаратов, так и при их выборе для тех или иных условий применения, тем не менее, нельзя считать абсолютно исключенными указанные аварийные ситуации.

* * *

Масштаб применения и значимость открытия В.В. Петрова трудно переоценить. Не случайно поэтому в 100-летнюю годовщину со дня смерти первооткрывателя электрической дуги Президиум ЦИК СССР принял постановление, в соответствии с которым в Московском энергетическом, Ленинградском и Харьковском электротехническом институтах устанавливалась ежегодная премия за лучший дипломный проект на энергетическую тему [4]. Поскольку Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт" является правопреемником Харьковского электротехнического института, представляется целесообразным восстановить эту славную традицию именно в НТУ "ХПИ".

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Багалій Д.І. Історія Слобідської України. – Харків: Дельта, 1993. – 253 с.
- [2] Энциклопедический словарь Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона. Том XV^A – С-Петербург, 1895.
- [3] Большая советская энциклопедия (В 30 томах). Изд. 3-е. М.: "Советская энциклопедия", 1970 – 1978.
- [4] Шнейберг Я.А. Василий Владимирович Петров. 1761 - 1834. – М.: Наука, 1985. – 253 с.

Поступила 04.04.03