

М.И. Баранов, Т.Д. Шерстюкова

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ "ВОЙНА" ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКОВ: КРАТКАЯ ИСТОРИЯ И ОБЛАСТИ ИХ СОВРЕМЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Наведено короткий нарис із всесвітньої історії становлення, протистояння і електротехнічного застосування постійного і змінного струмів.

Приведен краткий очерк из всемирной истории становления, противостояния и электротехнического применения постоянного и переменного токов.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, когда человечество просто не представляет себе жизни без электричества во всех сферах своей деятельности, начиная с производственной и заканчивая коммунальной, когда каждую минуту в мире людьми потребляются миллиарды киловаттчасов электроэнергии, трудно представить себе, что каких-то 100 лет тому назад электрическая лампочка могла работать всего до 40 часов и тем более на постоянном токе [1]. Переменный ток тогда был только в мыслях гениальных от природы ученых. Для его реального появления в промышленности и человеческому быту необходимо было совершить ряд революционных технических открытий. Мысленно вернемся в XIX век и вкратце проследим как проходило становление и как разворачивалась достаточно жесткая борьба ("война") двух основных видов электрического тока – **постоянного и переменного токов**. Любой войной, как известно, руководят главнокомандующие армий противника. В начале и в самый разгар "войны" этих электрических токов по одну сторону электротехнических баррикад (со стороны постоянного тока) стоял всемирно известный американский изобретатель, электротехник и предприниматель Томас Алва Эдисон [1], а по их другую сторону (со стороны переменного тока) – гениальный хорватско-сербский и американский электротехник Никола Тесла [1, 2], поддерживаемый крупным американским промышленником и инженером Джорджем Вестингаузом.

1. ПРОТИВОСТОЯНИЕ ВЕЛИКИХ ЭЛЕКТРОТЕХНИКОВ ЭДИСОНА И ТЕСЛЫ

Т. Эдисон, проучившись в американской начальной школе менее года и пройдя остальную часть своего общеобразовательного обучения дома с матерью, рано начал свою трудовую жизнь – с пятнадцати лет. Однажды, после того как он стал известным в г. Нью-Йорке предпринимателем, журналисты его спросили [1]: *"Не из тех ли Вы мальчишек, что торговали на улице конфетами в коробочках с фальшивым в полдюйма толщиной дном?"*. На что Т. Эдисон коротко ответил [1]: *"Нет. В моих коробках дно всегда было толщиной в дюйм"*. Вначале он работал станционным телеграфистом, где применил свое первое изобретение – телеграфный автоответчик, позволявший юному Томасу во время ночных дежурств самостоятельно повышать свой уровень технических знаний и спокойно спать. В нем рано "проснулось" чувство предпринимательства. Он уже в 22 года основал собственную фирму по продаже бытовой электротехники. В

работе Т. Эдисон пользовался девизом [1]: *"Никогда не изобретай то, на что нет спроса"*. Потрясающая работоспособность, развитая интуиция, вызывающая нахрапистость (зачастую граничащая с наглостью) вместе с талантом и упорство позволили Т. Эдисону (рис. 1) стать известным изобретателем и специалистом в электротехнических вопросах и, в конце концов, прославиться в области электротехники [1]. Т. Эдисон тратил достаточно много времени на эксперименты со своими разработками и доработку своих изобретений. В этом отношении Н. Тесла разительно отличался от него [1-3]. У Н. Теслы был необычный научно-технический дар – он мог в уме достаточно четко представить себе какое-либо техническое устройство, мысленно определить основные его части, собрать и настроить их так, чтобы затем быстро воплотить задуманное в реальность уже практически готовым к работе с его небольшими доработками.



Рис. 1. Томас Эдисон (1847–1931 гг.)

На втором курсе своего обучения в Пражском университете (в 1881 году) Н. Тесла осеняет идея индукционного генератора переменного тока. Профессор этого университета Пешль, с которым Н. Тесла поделился этой новой технической идеей, счёл её бредовой. Но заключение этого профессора только подстегнуло изобретателя и в 1882 году Н. Теслой, оставившим названный университет и поступившим из-за нехватки денег на жизнь в г. Будапеште на работу в должности инженера-электрика Венгерской телеграфной компании, была построена первая действующая модель такого генератора [2, 3]. Как поведать миру о своём техническом открытии, как получить у мировой научно-технической общественности заслуженное признание? *"Наверное, самый верный способ – обсудить данное изобретение с великим изобрета-*

телем в области электротехники Т. Эдисоном" – решает для себя Никола. После некоторых раздумий он в 1884 году уезжает в Америку для этой встречи.

Заокеанская встреча на американской земле с Т. Эдисоном оказала на молодого Н. Теслу (рис. 2) неизгладимое впечатление на долгие годы – американец казался хорвату-сербу "колдуном" от электричества. Отремонтировав динамо-машину на первом в мире пароходе с электрическим освещением (имеется в виду океанский лайнер "Оригон"), Н. Тесла добился уважения и доверия со стороны своего работодателя Т. Эдисона, обладавшего, мягко говоря, весьма непростым характером. После этого случая известный американский предприниматель и электротехник Т. Эдисон предложил молодому европейскому эмигранту Н. Тесле работу в своей компании по доводке "до ума" в эдисоновских электротехнических мастерских его генераторов и двигателей постоянного тока.

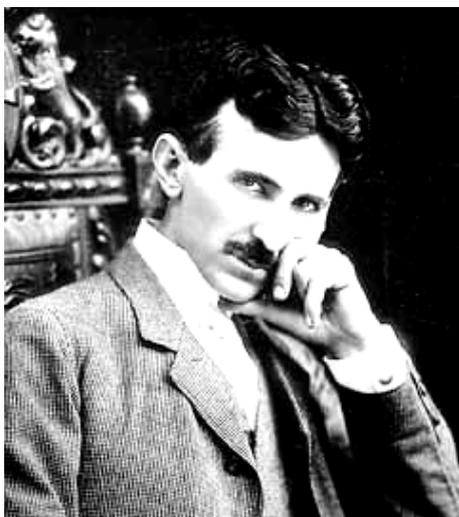


Рис. 2. Никола Тесла (1856-1943 гг.)

Работая на Т. Эдисона и его электромашин постоянного тока, Н. Тесла после основной работы находил время и для своих разработок и не прекращал усовершенствования своей новой системы электрических машин переменного тока. Противостояние между хозяином фирмы Т. Эдисоном и его работником Н. Теслой нарастало. После одной из ссор с Т. Эдисоном Н. Тесла оказался в буквальном смысле на улице. Но целеустремленного эмигранта из Европы это вовсе не испугало. Поэтому весной 1885 года Н. Тесла оставляет мастерские Т. Эдисона и организует, хотя и недолго просуществовавшее, свое предприятие "Общество электрического освещения". В октябре 1887 года он получает на свою систему электромашин первый американский патент (в дальнейшем подобных патентов в области электротехники у него будут десятки).

После этого между двумя великими изобретателями-электротехниками началась пряма таки "холодная война". Т. Эдисон, ругая про себя "неблагодарного приёмщика", стал публично и резко критиковать электрические генераторы переменного тока Н. Теслы. "Если Вы так уверены в своей правоте, – парировал молодой оппонент, – то что Вам мешает позволить мне опробовать мою систему на Вашем предприятии?". Неожиданно Т. Эдисон согласился и даже

пообещал своему техническому сопернику в бурно развивающейся области электрических машин премию в 50 тысяч долларов (около 1 млн. в пересчете на современные американские доллары), если тому удастся электрифицировать своим способом один из его заводов. Он был убеждён, что это невозможно. Н. Тесла подготовил 24 типа электротехнических устройств и за короткое время осуществил задуманное. Экономический эффект от использования его предложения (применения генераторов переменного тока в электроснабжении завода) превзошёл все ожидания. Т. Эдисон был обескуражен, но платить Н. Тесле обещанные деньги отказался. "А как же Ваше обещание?" – говорил ему Н. Тесла. На что Т. Эдисон отвечал: "Ну, это была ведь шутка. Разве у Вас нет чувства юмора?". После этого случая они окончательно и навсегда рассорились. Н. Тесла до конца своих дней не мог простить "королю изобретателей" эту малодушную "шутку" с издевкой. В декабре 1915 года Н. Тесла отказался принять действительно заслуженную им Нобелевскую премию по физике, присужденную ему Шведской Академией наук совместно с Т. Эдисоном за пионерские работы в области многофазных электрических машин [2]. Как утверждают биографы Н. Теслы, отказался от вручения премии именно по этой принципиальной общечеловеческой причине. Позже, в 1916 году Н. Тесла про Т. Эдисона скажет следующее [4]: "Эдисон не был ученым, а лишь способным изобретателем, организатором научной и коммерческой деятельности больших коллективов".

В апреле 1887 года Н. Тесла при финансовой поддержке Джеймса Кармена открывает свою электротехническую фирму "Тесла Электрик Лайт Компани". А практически через год в его жизни наступил день, ставший для него поистине судьбоносным. 16 мая 1888 года Н. Тесла сделал свой важный научно-технический доклад на тему "Новая система машин переменного тока и трансформаторов" и практически продемонстрировал своё изобретение в области электрических генераторов и двигателей переменного тока в Американском институте инженеров-электриков [1, 2]. Среди присутствующих в аудитории оказался миллионер Дж. Вестинхауз, американский инженер и крупный предприниматель, основатель компании "Westinghouse Electric Corporation" (рис. 3).

Отметим, что наиболее значимыми изобретениями Дж. Вестинхауза следует считать его технические разработки в области тормозных систем железнодорожного подвижного состава. Кроме того, Дж. Вестинхауз разработал способы безопасной транспортировки природного газа по металлическим трубам на большие расстояния и усовершенствовал электрический трансформатор. Выступление Н. Теслы потрясло Дж. Вестинхауза и с тех пор он становится союзником этого хорвата-серба в "войне" против постоянного тока и его яркого сторонника Т. Эдисона. Получив материальную независимость благодаря финансовой поддержке своего "патрона" Дж. Вестинхауза, Н. Тесла вплотную занялся обширными экспериментальными исследованиями в области электрических машин переменного тока.

Постоянный ток, при котором свободные электроны металлического проводника дрейфуют в одном

его направлении, очень удобен для передачи электроэнергии на небольшие расстояния. При больших же расстояниях происходят сравнительно большие потери электроэнергии из-за рассеяния этих электронов на атомах (ионах) металлической структуры проводника.



Рис. 3. Джордж Вестингауз (1846-1914 гг.)

Поэтому электрогенераторы и электростанции Т. Эдисона с выходным рабочим постоянным напряжением от 100 до 200 В могли эффективно работать только на расстоянии чуть больше 1,5 км. Ликвидировать этот недостаток можно было за счет использования медных проводов очень большого поперечного сечения или строительства множества локальных электростанций. Однако все это было достаточно сложным техническим мероприятием и главное – крайне дорогим. К тому времени в мире уже появились сравнительно дешевые и эффективные трансформаторы для переменного тока, а вместе с ними и возможность передавать электроток (электроэнергию) с малыми потерями на сотни километров. В 1888 году Н. Тесла, работая в США, изобрел индукционный электродвигатель, работавший на переменном токе. Заметим, что к этому времени в Европе, благодаря изобретениям работавшего в Германии русского эмигранта-электротехника Михаила Осиповича Доливо-Добровольского, была разработана трехфазная система генерирования и потребления переменного электрического тока [4]. В 1889 году им был создан трехфазный асинхронный двигатель переменного тока, содержащий распределенную по статору обмотку и короткозамкнутую обмотку ротора (прообраз современного электродвигателя). На приглашение М.О. Доливо-Добровольского ознакомиться в г. Берлине с этим электродвигателем Т. Эдисон заявил [4]: *"Переменный ток – это вздор, не имеющий будущего"*.

Переход на переменный ток должен был стать финансовым поражением для Т. Эдисона, который зарабатывал немалую сумму денег на патентных отчислениях за генераторы и двигатели постоянного тока (на денежных вознаграждениях за внедрения его изобретений в область американской электротехники). Предчувствуя это, Т. Эдисон подал в суд 11 исков на нарушение его патентных прав, обвинив своего коллегу Дж. Вестингауза в техническом плагиате. После того, как все эти судебные иски были отклонены, он перешел к "черному" пиару, публично демонстрируя убийства животных переменным током.

С 1888 года все технико-экономические аргументы оказались на стороне Н. Теслы и Дж. Вестингауза. Тогда сторонники Т. Эдисона сконцентрировались на мотиве "безопасности населения" при использовании электрического тока. Научно-технический диспут по видам токов и их влиянию на человека быстро закончился. Со стороны приверженцев постоянного тока началась сплошная демагогия. К примеру, Т. Эдисон опубликовал в научном журнале статью о "безопасном" постоянном токе. А в заказанных им газетных статьях это положение "проплаченные" журналисты усиливали – у них речь уже шла о "совершенно безопасном" постоянном токе. Их выводы плавно перетекали в утверждения об опасности только переменного электрического тока и ее принципиальной неустраняемости. При любых несчастных случаях у конкурента с переменным током, а они в период становления новой техники являются неизбежными, таблоиды центральных газет выходили под кричащими заголовками: *"Электрическое убийство"*, *"Очередное тело на проходах. Кто следующий?"* и т.п.

В 1885 году Н. Тесла покинул электротехнические мастерские Т. Эдисона. В этом же году в лагере "постоянного тока" появился некий инженер Гарольд Браун. Это был истинный демагог, готовый на любую подлость и выступавший исключительно "в защиту жизни населения". Т. Эдисона он как бы вообще и не знал, хотя было известно, что приборы для токовых "демонстраций" ему безвозмездно предоставляли эдисоновские фирмы. В своих обвиняющих очерках "защитник народа" начал называть переменный ток уже не просто "опасным", а "проклятым", вполне резонно полагая, что эти прилагательные со временем "приклеятся" и к лидерам противоположного лагеря. Одновременно для демонстрации объективности был подготовлен законопроект, разрешающий использование в штате Нью-Йорк переменный ток напряжением не выше 300 В и фактически ставивший крест на экономичных высоковольтных линиях электропередачи переменного тока. Т. Эдисон лично явился в сенат штата для лоббирования этого закона (прежде он такой публичной активности никогда не проявлял). Щадя самолюбие американского гения в области электротехники, сенаторы надолго "загнали" этот законопроект в технические комиссии, где он бесследно и "затерялся". Золотая пора свободной американской конкуренции проходила, обывателя куда сильнее интересовало снижение цен на электроэнергию переменного тока, чем его "проклятие". Публика все больше охладевала к публичным выступлениям Г. Брауна, начали раздаваться голоса протеста против вызывающих действий эдисоновских сторонников.

Примерно в то же время некто Поуп был убит электрическим переменным током от пробитого электрическим разрядом трансформатора, стоявшего у него дома в подвальном помещении. Это происшествие было широко освещено прессой и сработало против переменного тока. В 1887 году, когда губернатор Нью-Йорка создал комиссию для поиска эффективного способа казни преступников, альтернативного повешению, финансируемый Т. Эдисоном упомянутый инженер Г. Браун предложил идею убивать преступ-

ников электрическим током и, разумеется, "опасным" переменным током, а не "безопасным" постоянным током. Т. Эдисон заявил, что самым гуманным способом убийства преступников считает смерть от переменного тока [5]. Дж. Вестингауз, как резкий противник использования электричества для казни, отказался поставлять генераторы переменного тока для этой антигуманной цели. Сторонникам Т. Эдисона добывать их для этого страшного предназначения пришлось окольными путями. Первым человеком, казненным на электрическом стуле, стал Уильям Кеммлер (житель американского г. Буффало, убивший жену топором). Это произошло в 1890 году. Через тело У. Кеммлера пропустили два мощных разряда переменного тока напряжением 1,3 кВ каждый [5]. Т. Эдисон подкупил газетчика и на следующий день в нью-йоркской газете появилась статья под громким названием "Вестингауз казнил Кеммлера". Казнь выглядела настолько ужасно, что Дж. Вестингауз не мог не ответить на эту статью, заявив при этом следующее: "Топором бы у них вышло лучше". Антиреклама переменного электрического тока в американской среде активно продолжалась. В частности, Т. Эдисон самостоятельно заснял казнь электрическим током слонихи Топси, растоптавшей в зоопарке трех человек и за это умерщвленной в 1891 году [5]. Его пиар-ход удался. В 1892 году на американском Манхэттене появилась первая в США электростанция *Con Ed*, работающая на постоянном токе. Она начала обслуживать в г. Нью-Йорке 59 жилых домов. С этого времени система электроснабжения постоянным электрическим током начала активно развиваться во всех районах большого г. Нью-Йорка и в других городах США. Впрочем, Т. Эдисон своими не всегда достойными своего электротехнического величия действиями лишь на время отсрочил свое поражение в этой "войне" электрических токов. В 1893 году Дж. Вестингауз и Н. Тесла выиграли крупный заказ на освещение Чикагской Всемирной ярмарки с помощью 200 тысяч электролампочек [1, 2], работающих на переменном токе (рис. 4).

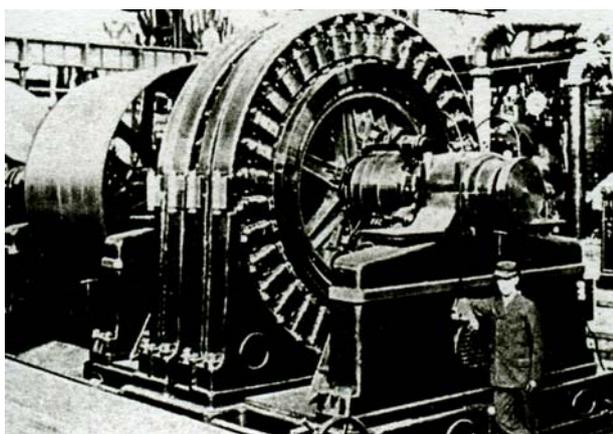


Рис. 4. Двухфазный генератор Н. Теслы, использовавшийся для освещения Чикагской Всемирной ярмарки в 1893 году

В 1896 году компания "Вестингауз Электрик Компани" совместно с Н. Теслой смонтировала электротехническое оборудование первой крупной гидроэлектростанции на Ниагарском водопаде (с тремя двухфазными генераторами общей мощностью

3680 кВт) для питания переменным током частотой 60 Гц предприятий и населения г. Буффало (рис. 5) [1-3]. Н. Тесла, продав все свои 40 патентов на изобретения в области многофазных электрических машин компании "Westinghouse Electric Corporation", включил "зеленый свет" для широкого внедрения в США в электротехническую практику электроэнергетического оборудования, работающего на переменном токе [4].

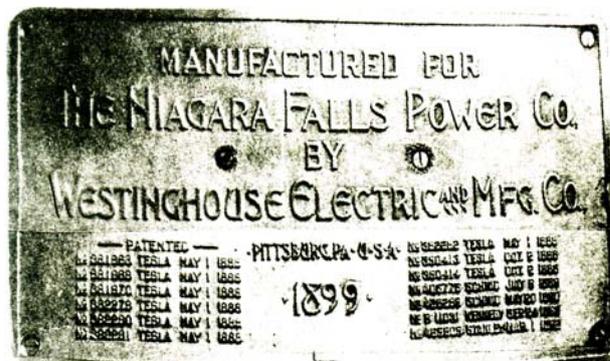


Рис. 5. Бронзовая доска на Ниагарской гидроэлектростанции (Ниагара-Фолс, США), на которой указаны внедренные к 1899 году здесь патенты Н. Теслы и где он назван первым изобретателем многофазной системы переменного тока

Т. Эдисону под давлением такой сильной конкуренции на американском электротехническом рынке со стороны мощной компании Дж. Вестингауза пришлось слить (объединить) свою компанию (рис. 6) с компанией Томсона-Хьюстона, являвшейся крупным поставщиком электротехнического оборудования переменного тока на американском континенте [1, 6]. В преимуществах переменного тока в США окончательно убедились через несколько десятилетий спустя к 30-м годам 20-го века (примерно за 30 лет его практического применения в промышленности и быту).

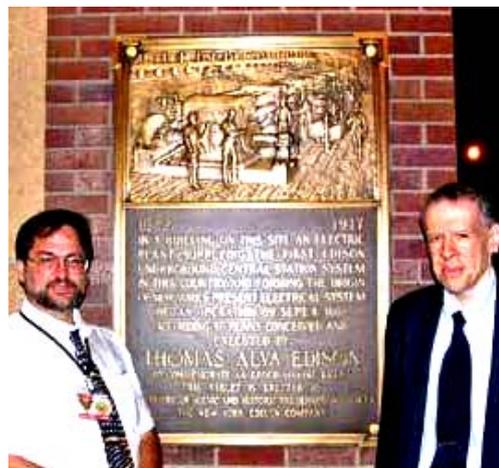


Рис. 6. Мемориальная бронзовая доска в честь Т. Эдисона на стене здания основанной им компании и ставшей впоследствии электротехнической компанией "Consolidated Edison"

Хотя уже в начале XX века большинство электростанций выдавали переменный ток, в мире существовало немало потребителей и постоянного тока. Переменный ток для них преобразовывался в постоянный с помощью ртутных выпрямителей. Электростанции постоянного тока строились вплоть до 30-х

годов прошлого столетия. Например, в г. Хельсинки окончательно перешли на переменный ток в 40-х годах, а в г. Стокгольме – в 60-х годах. Тем не менее, в США вплоть до 90-х годов 20-го столетия существовало 4,6 тыс. разрозненных потребителей постоянного тока. С 1998 года начались активные попытки по переводу их на переменный ток. С исчезновением в ноябре 2007 года в г. Нью-Йорке последнего потребителя постоянного электрического тока представители компании "Consolidated Edison", предоставляющей службу городского электроснабжения, перерезали последний питающий кабель (силовой фидер) этого вида тока проводимости [6]. На рис. 7 как раз и запечатлен этот исторический момент, наступивший в полдень пасмурного 14 ноября 2007 года: в желтой жилетке и голубой каске с логотипом компании "Consolidated Edison" главный инженер вышеупомянутой американской компании Фред Симмс перерезает символический кабель, положив тем самым в США конец более чем столетнему противостоянию между сторонниками Томаса Эдисона и Николы Теслы в теории и практике рассматриваемых электрических токов. Можно считать, что именно в этот день в г. Нью-Йорке условно закончилась "война" электрических токов, которую следует назвать Великой Столетней "войной" постоянного и переменного токов.

В последние годы своей жизни Н. Тесла часто гулял по парку вблизи своей гостиницы в г. Нью-Йорке, в которой он постоянно проживал свои долгие годы (семьей, собственной квартирой или домом он так и не обзавелся), в течение нескольких часов в день в одиночестве и добродушно кормил голубей.



Рис. 7. Исторический момент отключения в 2007 году компанией "Consolidated Edison" последних потребителей электроэнергии в г. Нью-Йорке от сети постоянного тока

Американский историк науки и техники Джо Каннингем в свое время заметил, что в тот момент 2007 года, когда в г. Нью-Йорке для его жителей перерезали последний электрический кабель постоянного тока, стая "голубей Теслы" пролетела над головами представителей указанной электротехнической компании, как бы обозначая своеобразным салютом это историческое событие. Возможно, это был "дух Теслы", бесшумно говоривший нам живущим на Земле: "Да, я выиграл войну электрических токов!".

2. ОБЛАСТИ СОВРЕМЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКОВ

Несмотря на условную победу переменного тока над постоянным, это вовсе не означает, что на практике применяется только переменный электрический ток. Непрерывное изменение направления движения свободных электронов проводника при переменном токе, его способность к трансформации открыли ему широкую дорогу во многие области техники и в наш быт. Все промышленное производство электроэнергетики на тепловых, атомных, гидровырабатывающих, гидроаккумулирующих, ветровых, приливных и термальных электростанциях во всем мире сейчас основано на использовании электромашин (турбогенераторов) переменного тока (в большинстве стран мира частотой 50 Гц, а в США – 60 Гц). Сейчас в мире подавляющая часть передачи (канализации) электроэнергии по воздушным и подземным (подводным) кабельным линиям базируется на высоком (амплитудой от 6 до 1150 кВ) переменном напряжении и слабом (с плотностью в токопроводах до $2 \cdot 10^6$ А/м²) переменном токе. Необходимо указать и то, что в настоящее время в связи с созданием мощных запираемых тиристоров и биполярных транзисторов с изолированным затвором в мире все активнее стали применяться мощные линии передачи (ЛППТ) и вставки (ВПТ) постоянного тока высокого напряжения не только для передачи электрической мощности, но и в качестве новых средств регулирования режимов работы энергосистем (в частности, в виде устройств для компенсации реактивной мощности и защиты от развала энергосистемы при аварии в ней в виде противоаварийной автоматики) [7]. Известно, что основными достоинствами воздушных ЛППТ являются их хорошая управляемость, более низкие по сравнению с воздушными линиями переменного тока потери на корону, возможность практически мгновенного изменения передаваемой по ним электрической мощности и отсутствие потерь реактивной мощности [7]. В тоже время главным недостатком воздушных ЛППТ считается плохая работа их электрической изоляции при сильных атмосферных загрязнениях и при тумане [7]. Современные ЛППТ и ВПТ базируются как на традиционных преобразователях тока (ПТ), так и на новых преобразователях напряжения (ПН). Следует отметить, что в конце 2006 года в мире эффективно работали четыре ЛППТ на ПН каждая мощностью более 50 МВт. Из них наиболее крупной считается введенная в эксплуатацию в 2002 году мощностью 330 МВт подводная кабельная ЛППТ длиной 40 км (на рабочее напряжение ± 150 кВ) через пролив Саунд (США) [7]. К 2008 году в мире уже работали 102 ЛППТ и ВПТ на ПТ общей мощностью более 50 ГВт. Сейчас по данным международной электроэнергетической группы СИГРЭ в мире активно ведутся проектные работы по 50 ЛППТ высокого напряжения с предполагаемым сроком ввода их в эксплуатацию до 2020 года [7].

Но не всегда хорош электрический ток, все время меняющий в проводе свое направление протекания. Вот Вы сели в троллейбус, поезд метрополитена или в вагон "электрички" на железной дороге. Здесь Вы попадаете во "владения" постоянного электриче-

ского тока. Дело в том, что простые и удобные электрические двигатели переменного тока не позволяют в широких пределах плавно менять скорость вращения своего ротора. А вспомните, сколько раз водителю троллейбуса приходится изменять скорость его движения. С такой беспокойной разносторонней работой хорошо справляется только двигатель постоянного тока. Питание этих двигателей осуществляется с тяговых выпрямительных подстанций. Приходящий на них с районных электростанций переменный электрический ток при помощи ртутных или иных выпрямителей преобразуется в постоянный ток, а затем подается в контактную сеть электротранспорта (в ее подвешенные медные провода и стальные рельсы).

Применение тяговых двигателей постоянного тока на транспортных машинах оказалось настолько выгодным, что их можно встретить на тепловозах и теплоходах. Их основными двигателями служат дизели, которые приводят в движение генераторы, вырабатывающие постоянный ток. А он, в свою очередь, заставляет работать электрические двигатели, вращающие колеса или гребные винты транспортных средств. Однако высокая стоимость и сложность преобразовательных подстанций заставили ученых и инженеров задуматься над использованием переменного тока на электротранспорте вместо постоянного тока. Сейчас уже есть участки железных дорог, использующие однофазный переменный ток. С успехом используют его и на многих дизель-электрических кораблях речного и морского флотов.

Дальнейшая электрификация железных дорог в нашей стране будет осуществляться преимущественно с использованием переменного тока электрическим напряжением 25 кВ. Этот ток будет превращаться в постоянный непосредственно на электровозах при помощи выпрямительных устройств (например, тиристорных вентилей). Хорошие регулировочные способности электродвигателей постоянного тока позволили с успехом применить их также на подъемно-транспортных механизмах. На обычных кранах, которые мы часто видим на строительстве домов, зданий и сооружений, работают двигатели переменного тока. Но на мощных подъемных кранах больших металлургических заводов устанавливают двигатели постоянного тока. Ведь здесь надо плавно поднимать и переносить огромные ковши с расплавленным металлом, разливать его в изложницы или подавать раскаленные болванки на прокатные станы. Эти электродвигатели приводят в движение и механизмы гигантских шагающих экскаваторов. Электродвигатели постоянного тока могут развивать очень большие скорости вращения – до 25 тыс. об/мин. Это позволяет получать большую мощность при сравнительно небольших размерах такого электродвигателя. Поэтому они незаменимы в качестве моторов управления, применяемых на самолетах для поворотов рулей высоты и крена, элеронов и закрылок, для подъема и опускания шасси и в других механизмах авиационной техники.

Неизменное направление движения зарядов в цепи постоянного тока определило важную область его применения, в которой переменный ток с ним соперничать не может. Речь идет об электролизе – про-

цессе, связанном с прохождением электрического ионного тока через жидкие растворы солей, кислот и щелочей (электролиты), разложением их и выделением на подключенных к положительному и отрицательному полюсам источника электрической энергии металлических электродах (на аноде и катоде) составных частей растворенных в электролите веществ (анионов и катионов) [8, 9]. Это свойство постоянного тока в электролитах широко используется в цветной металлургии при получении алюминия, магния, цинка, меди и других металлов. В химической промышленности при помощи электролиза получают водород, кислород, хлор и другие вещества. В гальванотехнике электролиз применяют для осаждения тонких слоев металла на поверхностях различных технических изделий. Таким же образом наносят защитные покрытия на металлические изделия (никелирование, хромирование), изготавливают типографские матрицы и т. п. Методы гальванизации и гальванотермии применяют в медицине для лечения некоторых болезней.

Постоянное направление движения свободных электронов в металле и плазменно-токовом дуговом канале помогает постоянному току соперничать с переменным током в сварочном деле и в некоторых видах освещения различных объектов и помещений технических сооружений. При сварке постоянным током частички металла с электрода переносятся на рабочее изделие более правильно и целенаправленно. Сварочный шов при этом получается качественнее, чем при сварке переменным электрическим током.

Зайдите на любую киностудию. Мощные дуговые кинопроекторы заливают светом ее съемочные павильоны. На переменном токе электрическая дуга горит менее устойчиво, дает меньше света и издает гул (шум), мешающий записи звука при киносъемке. Поэтому кинопроекторы питают постоянным током, который дает бесшумную устойчивую дугу. В мощных военных прожекторах и в дуговых кинопроекторных аппаратах также используется постоянный ток. Чтобы получить переменный ток, нужно непрерывно вращать ротор генератора переменного тока, а постоянный ток могут давать неподвижные аккумуляторные батареи или же гальванические элементы. Эти свойства источников электрического тока также в ряде случаев определяют область преимущественного применения постоянного тока вместо переменного.

Автомобиль стоит на месте. Как завести его двигатель? К услугам водителей предоставляется аккумуляторная батарея. Вы нажимаете кнопку стартера и двигатель постоянного тока, получая питание от аккумуляторной батареи, заводит мотор. А когда мотор работает, он вращает якорь генератора, который заряжает аккумулятор и тем самым восстанавливает израсходованную им на запуск мотора электрическую энергию. Такой обратимый процесс недоступен для переменного тока. Что было бы, если бы в железнодорожных поездах освещение питалось переменным током? Остановился поезд – перестали вращаться колеса вагонов, а вместе с ним остановились бы электрические генераторы и свет в вагонах погас бы. Но этого не происходит, потому что под вагонами установлены генераторы постоянного тока, работающие

параллельно с аккумуляторными батареями. Двигается поезд – роторы генераторов вращаются, они дают электроэнергию для освещения и одновременно заряжают аккумуляторные батареи его вагонов. Остановился поезд – аккумуляторные батареи вагонов посылают постоянный ток в осветительную сеть поезда.

Представим себе ситуацию, что на электростанции произошла авария: все турбо- или гидрогенераторы остановились и линии электропередачи, связывающие ее с другими электростанциями, отключились. В таких аварийных случаях выручает постоянный ток, получаемый от мощных резервных аккумуляторных батарей. С его помощью на электростанции приводят в движение вспомогательные механизмы, включают отключившиеся выключатели и снова пускают в работу главные турбо- или гидрогенераторы. Питание от аккумуляторной батареи очень надежно, поэтому все цепи защиты управления, автоматики и сигнализации на больших электростанциях работают, в основном, на постоянном токе. Может ли плавать дизельная подводная лодка без постоянного тока? На поверхности морской воды – да. В этом случае ее гребные винты вращаются бортовыми дизелями. Но под водой дизели экипажем останавливаются – не хватает воздуха, необходимого для их работы. В этих условиях на лодке работает двигатель постоянного тока, получающий электроэнергию, запасенную в аккумуляторных батареях. Когда лодка вновь всплывает на поверхность и включаются в работу дизели, электрический двигатель "превращается" в генератор и заряжает ее разряженные аккумуляторные батареи.

В подземных шахтах не везде можно подвесить металлический контактный провод для электровозов. Как же им в этих сложных условиях передвигаться? И тут опять выручает аккумуляторная батарея. На многих шахтах рудничные аккумуляторные электровозы доставляют уголь из самых отдаленных забоев. Электрические тележки с аккумуляторами – электрокары мы часто видим на железнодорожных вокзалах и товарных складах. Они в больших количествах имеются в промышленных цехах больших заводов и фабрик. Обратите внимание как кинооператор снимает какое-нибудь важное событие. В руках у него достаточно легкий киносъёмочный аппарат, а на поясе – аккумулятор. Нажал кнопку и аппарат заработал. Такие удобные аккумуляторные батареи широко применяются для переносных радиостанций, сигнальных устройств и электрических измерительных приборов. Следует отметить, что местами сделанные нами акценты могут привести читателя все же к мнению о победе переменного тока над постоянным. Но ведь, если вдуматься, то это "Пиррова победа". Ведь у каждого из данных видов тока – и переменного и постоянного – есть свое техническое предназначение. Каждый из этих электрических токов сейчас занял свою электротехническую нишу, каждый из них теперь занимается своим "делом", выполняет свою "работу". Хотя, если бы не было этой "войны" электрических токов, возможно, не было бы совершено столько научно-технических открытий, не было бы придумано такое количество инженерных решений, остались бы неизвестными для мира многие личности. И, на наш

взгляд, нет в этой электротехнической "войне" токов победителей и побежденных. Поэтому скажем большое спасибо Великой Столетней "войне" электрических токов (это тот редкий в истории человечества случай, когда жесткой борьбе и поистине воинственному противостоянию технических идей можно высказать благодарные слова) за сделанные благодаря ей технические открытия и принесенные человеческому обществу блага и поблагодарим имевших и имеющих прямое отношение к ней людей за то, что она для человечества успешно закончилась!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уилсон М. Американские ученые и изобретатели / Пер. с англ. – М.: Знание, 1975. – 248 с.
2. Баранов М.И. Никола Тесла и современная электротехника // Электротехника і електромеханіка. – 2006. – № 2. – С. 5-11.
3. Баранов М.И. Гениальный изобретатель Никола Тесла // Электропанорама. – 2008. – № 9. – С. 106-108.
4. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография. В 2-х томах. Том 1: Электрофизика и выдающиеся физики мира. – Харьков: Изд-во НТУ "ХПИ", 2008. – 252 с.
5. По материалам www.subscribe.ru.
6. По материалам www.ieee.org.
7. Худяков В.В. Новая роль высоковольтной преобразовательной техники в энергосистемах / Электричество. – 2009. – № 9. – С. 2-14.
8. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, 1990. – 624 с.
9. Баранов М.И. Майкл Фарадей и его научные заслуги перед человечеством // Электротехника і електромеханіка. – 2009. – № 6. – С. 3-12.

Поступила 17.05.2010

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., с.н.с.
НИПКИ "Молния" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт"
Украина, 61013, г. Харьков, ул. Шевченко, 47
тел. (057) 707-68-41, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

Шерстюкова Татьяна Дмитриевна, инженер
ООО "ЭК "АМПЕР-ХАРЬКОВ"
Украина, 61001, г. Харьков, пр. Гагарина, 1, оф. 112
тел. (057) 754-88-18, e-mail: rossi@uaone.com

M.I. Baranov, T.D. Sherstyukova
Electrical engineering "war" of direct and alternative currents: short history and their modern application domains.

A short essay is resulted from world history of becoming, opposition and electrical engineering application of direct and alternative currents.

Key words – history, war, direct and alternative currents.