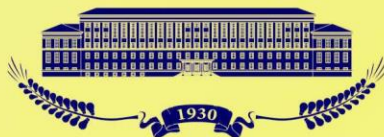


70-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОЙ ПОБЕДЫ ПОСВЯЩАЕТСЯ



ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

# ЭНЕРГИЯ-2015

ДЕСЯТАЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

21-23 апреля 2015 г.  
г. Иваново

ТОМ 3

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА»

---

# **ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**

## **«ЭНЕРГИЯ-2015»**

ДЕСЯТАЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

**ИВАНОВО, 21 – 23 апреля 2015 г.**

## **МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ТОМ 3. ЧАСТЬ 2**

---

ИВАНОВО

ИГЭУ

2015

УДК 620 + 621

ББК 31

Э 45

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА** // Десятая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2015»: материалы конференции [Электронная версия сборника]. В 7 т. Т. 3. Ч. 2 – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2015. – 27 с.

Помещенные в сборник тезисы докладов студентов и аспирантов электроэнергетического факультета Ивановского государственного энергетического университета отражают основные направления научной деятельности кафедр в области электроэнергетики и высшего профессионального образования.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами электроэнергетики.

Тексты тезисов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Авторская редакция сохранена.

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

**Председатель оргкомитета:** проректор по научной работе, д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ**.

**Члены оргкомитета:** декан электроэнергетического факультета, к.т.н., профессор **А.Ф. СОРОКИН**, зав. кафедрой «Автоматическое управление электроэнергетическими системами», к.т.н., доцент **В.Д. ЛЕБЕДЕВ**, зав. кафедрой «Теоретические основы электротехники и электротехнологий», д.т.н., профессор **В.А. МАРТЫНОВ**, заместитель зав. кафедрой «Электрические станции и диагностика электрооборудования», к.т.н., доцент **В.М. ЛАПШИН**, зав. кафедрой «Высоковольтные электроэнергетика, электротехника и электрофизика», к.т.н., доцент **В.Ф. ВОРОБЬЕВ**, зав. кафедрой «Электрические системы», к.т.н., доцент **А.Ю. МУРЗИН**, заместитель декана электроэнергетического факультета по научной работе к.т.н., доцент **А.В. МАКАРОВ**.

## СЕКЦИЯ 17

### ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Председатель – к.т.н., доцент **Макаров А.В.**

Секретарь – ассистент **Зайцев Е.С.**

*В.П. Ангельчева, студ.,  
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

#### ЭЛЕКТРОМОБИЛИ – ИЗ ПРОШЛОГО В БУДУЩЕЕ

Электромобиль – это автомобиль, приводимый в движение одним или несколькими электродвигателями с питанием от автономного источника электроэнергии (аккумуляторов, топливных элементов и т. п.), а не двигателем внутреннего сгорания.

Электромобиль появился раньше, чем двигатель внутреннего сгорания. Первый электромобиль был создан в 1841 году. В 1899 году в Санкт-Петербурге русский дворянин и инженер-изобретатель И. Романов создал первый русский электромобиль. Он требовал подзарядки каждые 64 километра, а мощность автомобиля составляла 4 лошадиные силы. На сегодняшний день серийно выпускаются электромобили Tesla, Renault, BMW и многие другие с мощностью 362 лошадиные силы и зарядом литий-ионного аккумулятора ёмкостью 85 кВт·ч, которого хватает на 426 км. Уникальность электромобилей заключается в том, что в них, конечно же, нет никакого двигателя внутреннего сгорания, а вместо него они используют электричество. Сердцем электромобиля являются аккумулятор или топливный элемент, контроллер и двигатель.

Одним из узлов электромобиля является топливный элемент (ТЭ). Он представляет собой первичный источник электроэнергии, вырабатывающий её непосредственно из топлива, для питания электромобилей. Но существуют недостатки использования ТЭ: повышение массы тяговых электродвигателей транспортных средств, невозможность рекуперации энергии при торможении, низкая удельная мощность. Делаются попытки снижения массы топливных элементов с использованием в качестве промежуточных источников энергии конденсаторных накопителей энергии. Но для накопления всего 2 кВт·ч энергии потребуется около 3000 кг или 2,5 м<sup>3</sup> конденсаторов, что нереально. Кроме того, при коротком замыка-

нии мощные конденсаторы могут загореться. Гораздо эффективнее использование в качестве промежуточного накопителя энергии супермаховика, соединенного с обратимой электромашинной.

Не менее важный элемент в работе электромобиля – это аккумулятор. Схема аккумуляторного электромобиля в общем случае следующая: аккумуляторная батарея через силовую электропроводку и систему регулирования тягового электродвигателя соединяется с тяговым электродвигателем, который через карданный вал передаёт главной передаче крутящий момент. Чтобы беречь и запасать энергию, в электромобилях используются литий-ионные аккумуляторы. Внутри такого аккумулятора находятся разделённые изоляторами обкладки пластины с графитом и ферро фосфатом лития. К концам пластин припаиваются электроды. Графитовый анод – это «плюс», а литиевый катод – «минус». Между ними заливается раствор электролита. При зарядке батареи ионы лития переходят в пластину с графитом, создавая на ней положительный потенциал. При подключении нагрузки запасённая энергия ионов лития высвобождается и создает электрический ток.

Важным элементом электромобиля является контроллер. Он соединяет аккумулятор и электродвигатель, который приводит в работу колёса. Для управления контроллером есть педаль акселератора. Работает она по принципу реостата. Педаль крепится к потенциометру, который посылает переменный ток контроллеру. Контроллер определяет сколько тока нужно подать от аккумулятора в двигатель. На самом деле от транзисторов идут потоки импульсов, а не один непрерывный поток. Импульсы поступают с переменностью 1500 в секунду. В большинстве современных автомобилей, которые используют мощные двигатели переменного тока, контроллер также меняет полярность аккумулятора с постоянным током в переменный. Частота переданной контроллером энергии от аккумулятора определяет мощность двигателя.

Современные производители электромобилей остановили свой выбор на асинхронных электродвигателях переменного тока или электродвигателях с постоянным магнитом, которые обеспечивают высокий крутящий момент, надёжную работу, а также сравнительно небольшой вес. Цилиндрический двигатель состоит из статора, который неподвижно закреплен и получает переменный ток для создания магнитного поля. Внутри статора ротор, который вращается на выходном валу. Он принимает крутящую силу и вращает механизм, который затем механически направляется к оси колеса.

Проблема создания эффективного электромобиля уже давно актуальная в технически развитых странах мира, также она приобретает особую актуальность в настоящее время и в России.

**Библиографический список**

1. Гулиа Н.В. Накопители энергии. – М.: Наука, 1980. – 150 с.
2. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Электромобиль>.

*В.Н. Белова, студ.,  
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ**

В 1948 году И.В. Курчатов начал первые работы в области применения атомной энергетики в мирных целях. В 1950 году возле поселка Обнинское Калужской области начались работы по строительству первой АЭС в мире. Обнинская АЭС была запущена 27 июня 1954 года. Именно этот день можно считать началом истории развития АЭС во всем мире!

Мощность Обнинской атомной электростанции составляла крохотные по меркам ГЭС или ТЭС того времени 5 МВт. Но она стала мощным испытательным полигоном для советских ученых-атомщиков. На основе испытаний этой АЭС уже в 1958 году была введена в эксплуатацию Сибирская АЭС мощностью первоначально 100 МВт, а позднее и 600 МВт, а в 1964 году Белоярской промышленной АЭС. Среди первых АЭС СССР можно назвать построенные в 1964 Нововоронежская АЭС и в 1973 Ленинградская АЭС.

Атомные электростанции (АЭС) – это по существу тепловые электростанции, которые используют тепловую энергию ядерных реакций.

Ядерное топливо используют обычно в твердом виде. Его заключают в предохранительную оболочку. Такого рода тепловыделяющие элементы называют твэлами, их устанавливают в рабочих каналах активной зоны реактора. Тепловая энергия, выделяющиеся при реакции деления, отводится из активной зоны реактора с помощью теплоносителя, который прокачивают под давлением через каждый рабочий канал или через всю активную зону. Наиболее распространенным теплоносителем является вода, которую тщательно очищают.

Реакторы с водяным теплоносителем могут работать в водном или паровом режиме. Во втором случае пар получается непосредственно в активной зоне реактора.

При деление ядер урана или плутония образуются быстрые нейтроны, энергия которых велика. В природном или слабообогатенном уране,

где содержание  $^{235}\text{U}$  невелико, цепная реакция на быстрых нейтронах не развивается. Поэтому быстрые нейтроны замедляются до тепловых (медленных) нейтронов. В качестве замедлителей используют вещества, которые содержат элементы с малой атомной массой, обладающие низкой поглощающей способностью по отношению к нейтронам. Основными замедлителями являются вода, тяжелая вода, графит.

В настоящее время наиболее освоены реакторы на тепловых нейтронах. Такие реакторы конструктивно проще и легче управляемы по сравнению с реакторами на быстрых нейтронах. Однако перспективным направлением является использование реакторов на быстрых нейтронах с расширенным воспроизводством ядерного горючего – плутония; таким образом, может быть использована большая часть  $^{238}\text{U}$ .

В России сейчас работают 10 АЭС, на которых установлен 31 энергоблок. Их суммарная электрическая мощность (около 23200 МВт) делится примерно поровну между двумя группами реакторов: водоводяными (ВВЭР-440, ВВЭР-1000) и кипящими канальными водографитовыми (РБМК-1000, ЭГП-6). На Белоярской АЭС работает единственный в мире энергетический реактор на быстрых нейтронах БН-600.

На атомных станциях России используют ядерные реакторы следующих основных типов:

РБМК (реактор большой мощности, канальный) – реактор на тепловых нейтронах, водо-графитовый;

ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) – реактор на тепловых нейтронах, корпусного типа;

БН – реактор на быстрых нейтронах с жидкометаллическим натриевым теплоносителем.

Проводя сравнение различных типов ядерных реакторов, стоит остановиться на двух наиболее распространенных в нашей стране и в мире типах этих аппаратов: ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) и РБМК (реактор большой мощности канальный).

Наиболее принципиальные различия: ВВЭР – корпусной реактор (давление держится корпусом реактора); РБМК – канальный реактор (давление держится независимо в каждом канале); в ВВЭР теплоноситель и замедлитель – одна и та же вода (дополнительный замедлитель не вводится), в РБМК замедлитель – графит, а теплоноситель – вода; в ВВЭР пар образуется во втором корпусе парогенератора, в РБМК пар образуется непосредственно в активной зоне реактора (кипящий реактор) и прямо идет на турбину – нет второго контура. Из-за различного строения активных зон параметры работы у этих реакторов также разные.

*Е.Д. Ефимкова, студ.,  
рук. Г.В. Чекан, ст. преподаватель  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

В настоящее время асинхронные машины используются в основном в режиме двигателя. Машины мощностью больше 0.5 кВт обычно выполняются трёхфазными, а при меньшей мощности – однофазными.

Впервые конструкция трёхфазного асинхронного двигателя была разработана, создана и опробована нашим русским инженером М.О. Долово-Добровольским в 1889 – 91 годах. Конструкция асинхронного двигателя, предложенная им, оказалась очень удачной и является основным видом конструкции этих двигателей до настоящего времени. За прошедшие годы асинхронные двигатели нашли очень широкое применение в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Их используют в электроприводе металлорежущих станков, подъёмно-транспортных машин, транспортёров, насосов, вентиляторов. Маломощные двигатели используются в устройствах автоматики [1].

Широкое применение асинхронных двигателей объясняется их достоинствами по сравнению с другими двигателями: высокая надёжность, возможность работы непосредственно от сети переменного тока, простота обслуживания. К недостаткам же можно отнести: зависимость скорости вращения вала двигателя от частоты питающего напряжения (50 Гц), большое соотношение массы двигателя к его мощности, ограниченность применения в нестационарных подвижных объектах.

Одним из вариантов решения регулирования скорости вращения вала асинхронного двигателя является применение частотных преобразователей, но их стоимость сопоставима, а в некоторых случаях превосходит стоимость самого двигателя. Уменьшение массы двигателя возможно за счет применения полых роторов и применения в качестве материалов корпуса двигателя композитных материалов и легких сплавов.

Совокупность этих решений реализовалась в разработке нового перспективного двигателя постоянного тока. Проект был начат 1992 году с организации Рыбинского конструкторского бюро моторостроения (РКБМ) под руководством А.Г.Курочкина, поставившего цель создания сверхкомпактного силового электродвигателя постоянного тока.

Электродвигатель 411 НИЛД (рис. 1) предназначен для применения в качестве тягового на перспективных гибридных автомобилях и элек-



тромабилях. Основное отличие от традиционных тяговых электродвигателей состоит в том, что конструкция специально оптимизирована на достижение авиационного уровня надежности при автомобильном уровне стоимости и на реализацию максимального КПД в широком диапазоне частот вращения. Он разработан по методологии априорного математического имитационного моделирования.

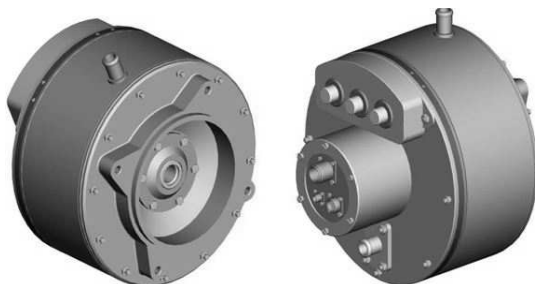


Рис. 1. Общий вид электродвигателя 411 НИЛД

Рассмотренный двигатель постоянного тока 411 НИЛД является перспективной заменой асинхронным трехфазным двигателям. С его выходом на серийное производство и применение в современной промышленности обеспечит повышение экономической эффективности, улучшение экологической обстановки и решение проблем по импортозамещению.

#### Библиографический список

1. **Асинхронные** машины [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://model.exponenta.ru/electro/0080.htm> (14.11.2014).

*К.А. Касаткин, А.А. Ключикин, студенты,  
рук. Г.В. Чекан, ст. преподаватель  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

#### ЭКЗОСКЕЛЕТЫ

В жизни часто возникают ситуации, когда человеку нужно гораздо больше сил, чем у него есть. Современному солдату приходится, помимо вооружения и боеприпасов, носить на себе гору необходимого снаряжения. Чтобы спасти жизнь пострадавшему, спасателям иногда нужно приподнять бетонную глыбу, но подъемный кран или бульдо-

зер часто не может пробраться через завалы. Не стоит забывать о людях, которые из-за травм или болезней лишены возможности управлять руками и ногами.

Воины надевали доспехи на свои тела с незапамятных времен, но первая идея тела с механическими мышцами появилась в научной фантастике в 1868 году, в одном из романов Эдварда Сильвестра Эллиса. В книге «Паровой человек прерий» описывался гигантский паровой двигатель человеческой формы, который передвигал его изобретателя, гениального Джонни Брейнерда, со скоростью 96,5 км/ч, когда тот охотился на быков и индейцев.

Первый реальный патент на экзоскелет получил русский инженер-механик Николай Ягн в 1890-х годах в Америке. Известный своими разработками конструктор более 20 лет прожил за океаном, запатентовал с много идей, описывающих экзоскелет, позволяющий солдатам с легкостью бегать, ходить и прыгать.

В 60-е годы XX века по заказу оборонного ведомства США была создана конструкция, получившая название Hardiman. Весила она 700 кг и позволяла поднять груз массой 350 кг. Генералы планировали, что Hardiman пригодится для обслуживания тяжелых авиабомб на складах и авианосцах. Однако проблем оказалось больше, чем достижений. Конструкция полностью зависела от периферийных устройств, по размерам превосходивших сам экзоскелет.

В биологии (из этой науки термин и пошел), когда говорят об экзоскелете, подразумевают твердую наружную оболочку, в которой находится тело животного. Она защищает и поддерживает тело живого существа, служит ему опорой. Также она – механический барьер, первый рубеж в сложной системе защиты организма от инфекций. Экзоскелет встречается у беспозвоночных: раковины у многих моллюсков, хитиновый панцирь у членистоногих и некоторых простейших.

В современной технике экзоскелетом принято называть не просто облачение, защищающее человека от внешних воздействий (древние доспехи и кольчуги и современные скафандры, бронезилеты). Речь идет о сложных устройствах, напоминающих каркас, которые поддерживают тело и умножают силу мышц. Основная его задача – усилить возможности человека, данные ему от природы.

На пути создания таких устройств есть три преграды.

Первая – источник энергии. Чем мощнее механизм, тем больше энергии нужно.

Вторая проблема – двигатели, увеличивающие силу мышц. Чем они мощнее, тем тяжелее и прожорливее машина. Сочетание тяжелых

моторов и батарей заметно уменьшает нагрузку, с которой может работать устройство.

Третья задача – управление. Работа экзоскелета в идеале предполагает управление им посредством нервных импульсов, передаваемых от человека непосредственно в машину. Экзоскелет должен стать продолжением тела для человека.

Если разложить гипотетический экзоскелет на составляющие, у нас будут: источник питания, механический скелет и программное обеспечение. И если с двумя последними пунктами всё ясно и проблем почти не осталось, то источник питания – это серьёзная проблема. Имея подходящий источник питания, инженеры могли бы не просто создать экзоскелет, а ещё и объединить его со скафандром и реактивным ранцем.

В начале XXI века интерес к экзоскелетам разгорелся с недюжинной силой и продолжает гореть до сих пор.

#### **Библиографический список**

1. **Будущее**, доступное уже сегодня [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.i-regions.org/association/news/news-innovation/14979/> (31/10/2014).

*А.А. Коробова, студ.,  
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАГНИТО-ТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ**

К магнито-твёрдым материалам относятся такие вещества, которые после снятия внешнего магнитного поля сохраняют остаточное значение магнитной индукции. К этим материалам относят постоянные магниты.

Области применения постоянных магнитов чрезвычайно разнообразны. Это, прежде всего, электротехнические и электромеханические устройства, такие как: электродвигатели и генераторы на постоянных магнитах, магнитные сепараторы для извлечения металлических частиц из сыпучих веществ, устройства для омагничивания воды. Во всех перечисленных устройствах используется магниты на основе сплавов самарий-кобальт и неодим-железо-бор.

Постоянные магниты применяются также в медицине, например, для проведения магнитотерапии. С этой целью используется в основном феррито-бариевые магниты, которые изготовлены на основе магнитоэла-

стов. Они имеют низкое значение остаточной индукции и коэрцитивной силы. Дальнейшее развитие магнито-твёрдых материалов связано с созданием сплавов с высокими энергетическими характеристиками. Это способствует снижению массогабаритных параметров электротехнических устройств, а также магнитов, которые имеют высокую стабильность, своих магнитных характеристик в широком температурном диапазоне.

Все выпускаемые промышленностью постоянные магниты делятся на две группы. К первой группе относятся магниты, способные полностью восстанавливаться магнитный поток после временного отделения от арматуры, или после воздействия стороннего размагничивающего поля, напряжённость которого соизмерима или даже превышает величину коэрцитивной силы магнита. У этих магнитов колено кривой размагничивания лежит в третьем квадранте. Для них справедливо соотношение:

$$\mu_0 H_{cm} / B_r > 1,$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $H_{cm}$  – коэрцитивная сила по намагниченности (А/м);  $B_r$  – остаточная индукция (Тл).

Это отношение характеризует магнитную твердость вещества. Такие вещества называются «закритическими». Вторую группу составляют магниты, кратковременное извлечение которых из арматуры приводит к значительному снижению магнитного потока. Колено кривой размагничивания этих магнитов находится во втором квадранте. Такие магниты называются «докритическими». Магниты, изготовленные из «докритических» материалов, имеют невысокое значение коэрцитивной силы.

Магниты, изготовленные из «закритических» материалов имеют высокое значение коэрцитивной силы, что обуславливает неизменность их магнитных характеристик при вибрациях, ударах, действии сторонних тепловых и магнитных полей. К таким магнитам относятся ферритобариевые магниты 16БА190, 22БА220, ферритостронциевые магниты: 24СА200, 27СА220, а также редкоземельные магниты, такие как самарий-кобальтовые: КС37, КС25. Магниты, изготовленные из сплава неодим-железо-бор марки Ч36Р или неодим-диспрозий-бор с добавлением тербия марок Нм36Р, Нм32Р.

Применение постоянных магнитов, в качестве источника магнитного поля, повышает надёжность работы технических устройств, т.к. отсутствует необходимость в наличии внешнего электрического питания. Кроме того, массогабаритные параметры постоянных магнитов значительно меньше, чем электромагнитов, при одинаковом значении параметром магнитного поля в техническом устройстве.

*Е.М. Королева, студ.,  
рук. Г.В. Чекан, ст. преподаватель  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ЭЛЕКТРООСМОС И ЭЛЕКТРОФОРЕЗ

Фердинанд Фридрихович Рейсс (1778 – 1852) родом из Германии. Образование получил в Геттингенском и Тюбингенском университетах. Именно он в 1807 г. открыл явление электрофореза и электроосмоса.

Электрокинетическими явлениями называют перемещение одной фазы относительно другой в электрическом поле и возникновение разности потенциалов при течении жидкости через пористые материалы (потенциал протекания) или при оседании частиц (потенциал оседания).

Рейсс поставил два эксперимента. В одном из них Ф.Ф. Рейсс погрузил в глину две стеклянные трубки (рис. 1), наполнил их водой и после наложения на них электрического поля наблюдал перемещение частиц глины в жидкости в направлении положительно заряженного электрода. Через некоторое время жидкость в трубке с положительным электродом становилась мутной из-за подъема частиц глины к электроду. Одновременно уровень жидкости в этой трубке понизился, а в другой поднялся. Этот опыт показал, что частицы глины имеют отрицательный заряд и перемещаются в электрическом поле.

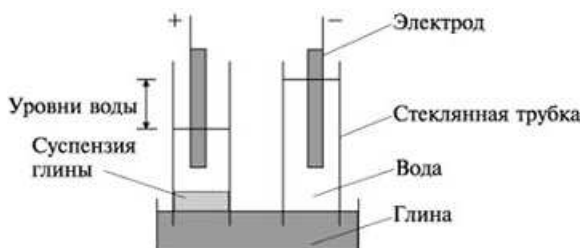


Рис. 1. Схема электрофореза

Движение дисперсных частиц относительно дисперсионной среды (жидкой и газообразной) под действием электрического поля было названо электрофорезом. В водной среде частица движется к электроду, знак заряда которого противоположен знаку электрокинетического потенциала.

В другом эксперименте (рис. 2) Рейсс использовал U-образную трубку, перегороженную в нижней части диафрагмой из кварцевого пес-

ка и заполненную водой. При наложении электрического поля он обнаружил движение жидкости в сторону отрицательно заряженного электрода. Происходящее до тех пор, пока не устанавливалась определенная разность уровней жидкости (равновесие с гидростатическим давлением). Поскольку без диафрагмы движение жидкости отсутствовало, то последовал вывод о зарядении жидкости при контакте с частицами кварца. Явление получило название электроосмоса.

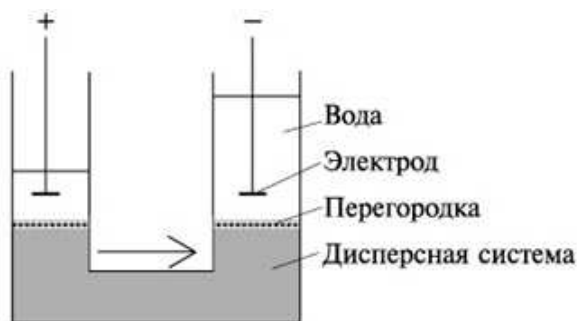


Рис. 2. Схема электроосмоса

Таким образом, электроосмос – перемещение дисперсионной среды под действием электрического поля: противоионы диффузного слоя притягиваются к соответствующему электроду и увлекают за собой жидкость дисперсионной среды. Электроосмос проявляется также при движении жидкости дисперсной системы через капилляры или поры диафрагмы под действием электрического тока.

Электрокинетические явления имеют практическое применение.

На электрофорезе основаны очистка воды, улавливание частиц дыма или пыли, выделение белков, аминокислот, витаминов и т.п. Поскольку вместе с гранулами передвигаются молекулы жидкости, составляющие их сольватные оболочки, электрофорезом производят частичное обезвоживание различных материалов (глины, почвы, мокрого торфа). Электрофоретическим методом производится нанесение покрытий на различные поверхности. В медицине электрофорезом через кожу или слизистые оболочки вводят лекарственные вещества.

#### Библиографический список

1. **Явления** электрофореза и электроосмоса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sites.google.com/site/kolloidnaahimia/elektrokineticeskie-svojtva-dispersnyh-sistem-i-vsetaki-ona-dvizetsa/ferdinand-fridrih-fon-rejss> (25.04.2012).

*П.О. Крюкова, студ.,  
рук. Г.В. Чекан, ст. преподаватель  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП

Электронный микроскоп – прибор, позволяющий получать изображение объектов с максимальным увеличением до  $10^6$  раз. Для получения изображения в электронном микроскопе используются специальные магнитные линзы, управляющие движением электронов в колонне прибора при помощи магнитного поля.

Появление электронного микроскопа стало возможным после ряда физических открытий конца XIX – начала XX века. Это открытие в 1897 году электрона и экспериментальное обнаружение в 1926 году волновых свойств электрона, подтверждающее выдвинутую в 1924 году де Бройлем гипотезу о корпускулярно-волновом дуализме всех видов материи. В 1926 году немецкий физик Х. Буш создал магнитную линзу, позволяющую фокусировать электронные лучи, что послужило предпосылкой для создания в 1930-х годах первого электронного микроскопа.

В 1931 году Р. Руденберг получил патент на просвечивающий электронный микроскоп, а в 1932 году М. Кнолль и Э. Руска построили первый прототип современного прибора. Использование просвечивающего электронного микроскопа для научных исследований было начато в конце 1930-х годов и тогда же появился первый коммерческий прибор, построенный фирмой Siemens.

В конце 1930-х – начале 1940-х годов появились первые растровые электронные микроскопы, формирующие изображение объекта при последовательном перемещении электронного зонда малого сечения по объекту. Массовое применение этих приборов в научных исследованиях началось в 1960-х годах, когда они достигли значительного технического совершенства.

Существует большое количество различных типов электронных микроскопов, среди которых наиболее популярен растровый электронный микроскоп [1]. Его упрощенная схема представлена на рис. 1.

В таком микроскопе тонкий луч электронов (диаметр пучка около 10 нм) обегает образец по горизонтальным строчкам, точку за точкой, и синхронно передает сигнал на кинескоп. Весь процесс аналогичен работе телевизора в процессе развертки. Источником электронов служит металл, из которого при нагревании в результате термоэлектронной эмиссии испускаются электроны.

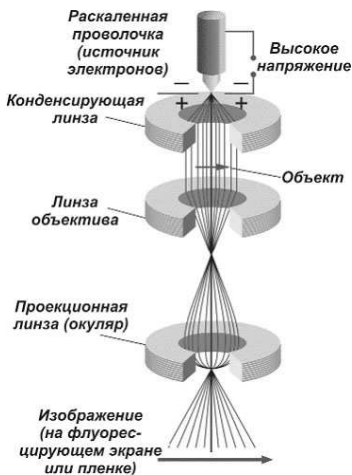


Рис. 1. Схема работы растрового электронного микроскопа

При прохождении электронов через образец одни из них рассеиваются из-за столкновений с ядрами атомов образца, другие из-за столкновений с электронами атомов, а третьи проходят сквозь него. В некоторых случаях испускаются вторичные электроны, индуцируется рентгеновское излучение и т.п. Все эти процессы регистрируются специальными детекторами и в преобразованном виде выводятся на экран, создавая увеличенную картинку изучаемого объекта.

Увеличение в данном случае понимается как отношение размера изображения на экране к размеру области, огибаемой пучком на образце. В связи с тем, что длина волны электрона на порядки меньше, чем фотона, в современных растровых электронных микроскопах это увеличение может достигать 10 миллионов, соответствуя разрешению в единицы нанометров, что позволяет визуализировать отдельные атомы.

Главный недостаток электронных микроскопов – необходимость работы в полном вакууме, так как наличие какого-либо газа внутри камеры микроскопа может привести к ионизации его атомов и существенно исказить результаты. Кроме того, электроны оказывают разрушительное воздействие на биологические объекты, что делает их неприменимыми для исследования во многих областях биотехнологии.

#### Библиографический список

1. **Электронный микроскоп** [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.microscopes-review.ru/stati-o-mikroskopax/elektronnyj-mikroskop.html> (16.03.2013).



*Е.А. Максименко, студ.,  
рук. В.А. Мартынов, д.т.н., профессор  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

Чтобы разбираться в закономерностях развития любой отрасли знания, необходимо знать ее историю. История развития электрических машин весьма интересна и заслуживает внимания.

Принято считать, что история электрических машин начинается с создания М. Фарадеем в 1821 г. электрического двигателя, который представлял собой постоянный магнит, вокруг которого вращался проводник с током. Скользящий контакт обеспечивался ртутью, налитой в чашу, и верхней опорой. В двигателе Фарадея при постоянном токе в проводнике и постоянном магнитном поле, создаваемом постоянным магнитом, осуществлялось преобразование электрической энергии в механическую. Однако лишь в 1834 году Б.С. Якоби создал конструкцию электродвигателя, основные конструктивные особенности которого используются и по сей день.

Возможность создания электрического генератора возникла только после открытия М. Фарадеем в 1831 году закона электромагнитной индукции. Используя это открытие, братья Пикси в 1832 году создали конструкцию первого генератора переменного тока с вращающимися постоянными магнитами и с коммутатором для выпрямления тока.

Первое время электрические генераторы и двигатели развивались обособленно. Лишь в 1833 году немецкий физик Э.Х. Ленц сформулировал принцип обратимости электрических машин, получивший в 1838 году практическое применение. В последующее время в конструкции генераторов постоянные магниты были заменены электромагнитами. Начальный период развития электрических машин связан главным образом с постоянным током. Объясняется это тем, что потребителями электрической энергии являлись установки, работающие исключительно на постоянном токе (дуговые лампы, установки гальваноластики и т.п.). Применение электрического освещения в крупных городах потребовало повышения мощности электрических генераторов и их дальнейшего совершенствования.

В 1867 году известный немецкий ученый и изобретатель Э.В. Сименс использовал принцип самовозбуждения в генераторах с последовательным возбуждением. В то же время Д. Максвелл заложил основы теории электрических машин, создав их математическую модель.

В 1870 году бельгийский изобретатель З. Грамм построил электрическую машину с кольцевым якорем из пучка проволоки. Применение кольцевого якоря позволило устранить пульсации, увеличить КПД и уменьшить габаритные размеры электрической машины. В 1873 немецкий электротехник Ф. Гефнер-Альтенек совместно с В. Сименсом предложили конструкцию с барабанным якорем. Развитие электрических железных дорог значительно увеличило спрос на электродвигатели и генераторы, что способствовало их дальнейшему совершенствованию.

В 80-х годах XIX века возникла необходимость передавать электроэнергию на расстояние. В 1882 году были проведены опыты по передаче электроэнергии на постоянном токе при повышенном напряжении. Однако высокое напряжение в генераторах постоянного тока ухудшило работу коллектора, что часто приводило к авариям. Все это усиливало интерес электротехников того времени к переменному току. Большая заслуга в развитии переменного тока принадлежит русскому ученому П.Н. Яблочкову, который широко использовал переменный ток для питания изобретенных им электрических свечей. В 1876 году ученый применил для питания этих свечей трансформаторы с незамкнутым сердечником, положив тем самым начало практическому использованию трансформаторов.

В 1889 году русский инженер М.О. Доливо-Добровольский предложил для передачи электроэнергии трехфазную систему переменного тока. Для практической реализации своей идеи он построил трехфазный асинхронный двигатель и трехфазный трансформатор.

К началу XX века были созданы все основные виды электрических машин и разработаны основы их теории. Дальнейшее развитие сводилось к усовершенствованию конструкции машин для увеличения их мощности и КПД.

Первые образцы электрических машин были созданы более ста лет тому назад, однако только в последние годы появляются новые электротехнические устройства, выполняющие такие же функции по преобразованию энергии, но основанные на других теоретических принципах. Это, в первую очередь, статические преобразователи электрической энергии, новые виды генераторов электрической энергии. Что касается электродвигателей, то они пока являются единственными преобразователями электрической энергии в механическую.

#### Библиографический список

1. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Логос, 2000. – 607 с.
2. Кацман М.М. Электрические машины и трансформаторы. – М.: Высш. шк., 1970.

*А.А. Рябина, студ.,  
рук. Г.В. Чекан, ст. преподаватель  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## БАГДАДСКАЯ БАТАРЕЯ

На сегодняшний день существует теория, что в далёкой древности люди успешно пользовались своеобразными электрическими элементами и в тёмное время суток использовали особые «лампы». Подобное утверждение родилось в 30-е годы XX столетия. Причиной послужила удивительная находка, получившая название багдадской батарейки [1].

Она была обнаружена австрийским археологом Вильгельмом Кёнингом в 1936 году в предместье Багдада [2]. Это древний сосуд светло-жёлтого цвета. Высота его составляет всего 15 см. Возраст оценивается в 2000 лет. Горлышко было залито смолой, из которой выступал кончик железного стержня.

Когда горловину освободили от смоляной пробки, то обнаружили внутри медную трубку – свёрнутый медный лист. Её диаметр равнялся 25 мм, а длина едва дотягивала до 9 см. Через эту трубку проходил железный стержень. Он не доставал до дна сосуда и свободного пространства оставалось ещё пара сантиметров. Дно покрывала горная смола. Схема этого устройства представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема багдадской батарейки

Вильгельм Кёнинг предположил, что это приспособление могло являться древней батареей для выработки электрического тока. Если налить в сосуд лимонный, виноградный сок или уксус, то он полностью будет окружать как медный цилиндр, так и железный прут. Жидкость в этом случае будет выступать, как кислотный электролит. Следовательно, между медью и железом возникнет разность потенциалов и появится электрический ток.

В дальнейшем уже другие исследователи замеры напряжения, которое может выдавать данная конструкция. Вольтметр показал величину в 1,1 В, и если взять несколько десятков или сотен таких сосудов и соединить их последовательно, то в результате можно получить и гораздо большее напряжение. Его можно было бы использовать для различных целей, например освещения.

В Древнем Иране часто применяли медную посуду, покрытую тонким слоем серебра. Равномерный тонкий слой серебра можно нанести на поверхность, используя электролитический метод. Вполне возможно, что древние мастера пользовались подобным методом.

В наши дни загадка таинственной иранской находки так и не разгадана. Экспериментальным путём доказано, что батарейка, сконструированная подобным образом, способна выдавать напряжение не более 1,5 В. Использовалась ли данная конструкция для целей, связанных с электричеством, не известно и сегодня.

#### **Библиографический список**

1. **Загадки** истории. Багдадская батарейка [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.factruz.ru/history\\_mistery/baghdad-battery.htm](http://www.factruz.ru/history_mistery/baghdad-battery.htm) (18.10.2012).
2. **Багдадская** батарея [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Багдадская\\_батарея](https://ru.wikipedia.org/wiki/Багдадская_батарея) (13.02.2015).

*Ф.С. Смирнов, студ.,  
рук. В.А. Мартынов, д.т.н., профессор  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ**

Впервые о сверхпроводимости человечество узнало в 1911 году, когда голландский физик Хейке Камерлинг-Оннес получил жидкий гелий и тем самым открыл путь к систематическим исследованиям свойств материалов при температурах, близких к абсолютному нулю. Им было обна-

ружено, что при 4,2 К обычная металлическая ртуть полностью теряет электрическое сопротивление.

В 1933 г. Вальтер Мейснер и Роберт Оксенфельд показали, что сверхпроводники одновременно являются и идеальными диамагнетиками, то есть полностью выталкивают линии магнитного поля из своего объёма.

Вся дальнейшая история сверхпроводимости состоит, в основном, из открытий различных структур. При этом главной целью было создание соединения, у которого температура перехода в состояние сверхпроводимости как можно выше. Получение такого соединения открыло гораздо больше возможностей для практического применения сверхпроводников.

В 1986 году Карл Мюллер и Георг Беднорц открыли новый тип сверхпроводников, получивших название высокотемпературных. В начале марта 1987 года был впервые получен сверхпроводник при температуре, превышающей температуру кипения жидкого азота.

Важнейшей чертой открытия высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) можно назвать то, что сверхпроводимость была обнаружена не у традиционных интерметаллидов, органических или полимерных структур, а у оксидной керамики, обычно проявляющей диэлектрические или полупроводниковые свойства. Это разрушило психологические барьеры и позволило в течение короткого времени создать новые, более совершенные поколения металлоксидных сверхпроводников.

Например, в 1993 г. Антипов, Путилин и др. открыли ряд ртутьсодержащих сверхпроводников, которые имели наибольшее известное значение критической температуры (135 К), причем при внешнем давлении 350 тысяч атмосфер температура перехода возрастает до 164 К, что лишь на 19 К уступает минимальной температуре, зарегистрированной в природных условиях на поверхности Земли.

Всего к настоящему времени известно около 50 слоистых ВТСП-купратов. И хотя безмедные сверхпроводники известны довольно давно, на них до сих пор не удавалось достичь сколько-нибудь высокой температуры перехода в СП состояние. Отдельно следует упомянуть также направление, связанное с попытками синтеза «экологически безопасных» ВТСП, не содержащих тяжелых металлов (Hg, Pb, Ba), например, получаемых под высоким давлением оксикупратных фаз кальция.

Широкое использование сверхпроводников поднимет на новую ступень развития электротехники и электроэнергетики.

Явление сверхпроводимости используется для получения сильных магнитных полей, поскольку при прохождении по сверхпроводнику сильных токов, создающих сильные магнитные поля, отсутствуют тепловые потери.

Вихри в сверхпроводниках второго рода можно использовать в качестве ячеек памяти. Подобное применение уже нашли некоторые магнитные солитоны.

Применение сверхпроводящих кабелей для доставки электричества, так как один тонкий подземный кабель способен передавать мощность, которая традиционным методом требует создания цепи линии электропередач с несколькими кабелями много большей толщины.

Проблемами, препятствующими широкому использованию, являются стоимость кабелей и их обслуживания. Практически все высокотемпературные сверхпроводники нетехнологичны – хрупки, не обладают стабильностью свойств.

#### Библиографический список

1. **Максимов Е.Г.** Проблема высокотемпературной сверхпроводимости. Современное состояние. – 2000. – Т. 170. – № 10.
2. URL: [http://ru.science.wikia.com/wiki/Высокотемпературная\\_сверхпроводимость](http://ru.science.wikia.com/wiki/Высокотемпературная_сверхпроводимость).

*В.Н. Токунов, студ.,  
рук. Г.В. Чекан, ст. преподаватель  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Почти 200 лет назад, известным физиком-экспериментатором Майклом Фарадеем было открыто явление электромагнитной индукции. На законе электромагнитной индукции было изобретено множество устройств, в том числе генераторы и трансформаторы, вырабатывающие и распределяющие электрическую энергию.

Спустя 10 лет после открытия Фарадея, английский физик Джеймс Джоуль открывает закон, дающий количественную оценку теплового действия электрического тока – закон Джоуля–Ленца.

Теорию индукционного нагрева стал разрабатывать целый ряд ученых. Их работы стали основой для создания техники индукционного нагрева и дали начало поискам устройств, способных бесконтактно нагревать металлы.

Одна из первых известных конструкций индукционной канальной печи была предложена С. Ферранти в 1887 г. Печь имела керамический канал, а плоские катушки индуктора были размещены над и под этим каналом. В 1905 г. Рёхелинг-Роденхаузер сконструировал многофазные ка-

нальные печи (с двумя и тремя индукторами). Первую промышленную печь со стальным сердечником и индуктором, размещенным внутри канала, создал в 1900 году Кьеллин.

Индукционный нагрев металлов, применяемый в промышленных установках с конца XIX века, в настоящее время получил широкое применение во многих областях промышленности. Причиной такого успеха индукционного нагрева являются те достоинства, которые присущи этому виду нагрева. Они в основном определяются тем, что при индукционном нагреве теплота выделяется непосредственно в нагреваемом теле, благодаря чему использование тепла оказывается более совершенным и обеспечивается значительно большая скорость нагрева. Большая скорость нагрева является дополнительным преимуществом по сравнению с нагревом в печах сопротивления, в пламенных печах и т.д., когда нагреву подвергается лишь внешняя поверхность металла, а подогрев глубинных частей осуществляется за счет теплопроводности, то есть сравнительно медленно.

Устройство для индукционного нагрева металлов (рис. 1) в самом общем виде представляет собой обмотку, питаемую переменным током. В переменном магнитном поле, создаваемом этой обмоткой, называемой индуктором, помещается нагреваемое металлическое тело. Переменный магнитный поток возбуждает в металлическом теле переменную э.д.с. и вихревые токи, которые и нагревают тело. Таким образом, теплота, выделяющаяся в теле, зависит, помимо других факторов, от удельного сопротивления нагреваемого металла. Так как в непроводниках ток проводимости не возникает, то в них тепло не выделяется; это позволяет при индукционном нагреве выделить энергию исключительно в нагреваемом металле.

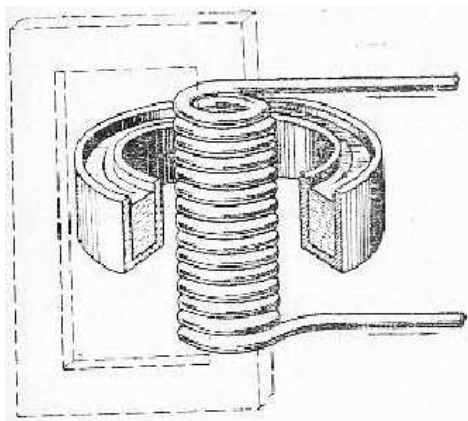


Рис. 1. Общий вид устройства индукционного нагрева

В настоящее время индукционный нагрев применяют почти во всех областях нагрева металлов: в печах для плавки металлов, в установках для нагрева под горячую обработку (ковку и штамповку), для термической обработки металлов (закалки и отпуска) и в ряде других областей.

*А.А. Чельшева, студ.,  
рук. Г.В. Чекан, ст. преподаватель  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **«ЧЕРНЫЙ СВЕТ» В НАУКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В 1851 году Риттером были обнаружены лучи за фиолетовым концом спектра, о существовании которых никто не догадывался. Обнаруженные лучи были невидимы, но вызывали сильные химические изменения. Их оказалось легко обнаружить с помощью фотопластины, которая темнеет больше всего в области, лежащей за фиолетовым концом спектра.

При подробном изучении ультрафиолетового излучения обнаружилось, что оно способно оказывать сильное физиологическое воздействие: убивать микроорганизмы, разрушать живые ткани. В связи с этим применение ультрафиолетовых лучей нашло широкое применение в медицине и санитарии.

Важной особенностью ультрафиолетовых лучей является способность вызывать свечение многих веществ под их воздействием. Это оказалось очень важным для техники, давая возможность исследовать состав различных продуктов. Но применение этого метода ограничивало то обстоятельство, что воздействие ультрафиолетовых лучей негативно сказывалось на людях, работающих в помещениях, освещенных ультрафиолетом.

Американский физик Р. Вуд, работая в течение многих лет над исследованием экранов, способных отделять видимый свет от невидимого и получать лучи, наиболее активно действующие на флюоресцирующие вещества, смог найти такой экран. Им стало черное стекло с окисью никеля. Экран Вуда, помещенный перед кварцевой лампой, будет пропускать только ультрафиолетовые лучи с длиной волны от 3650 до 3663 А и видимые лучи с длиной волны 3341 А.

Вначале такие лучи назывались «светом Вуда», потом их стали называть просто «черный свет». Именно под этим названием они вошли в современную науку и технику. Особенностью лучей, пропущенных через стекло Вуда, является то, что они, будучи активными возбудителями флюоресценции, не оказывают вредного воздействия на организм человека и животных.

«Черный свет» начал применяться еще в Первую мировую войну. Союзники пользовались им для секретной сигнализации. Бейль и Фабр



стали использовать его для борьбы с германским шпионажем: освещая им записки, конверты и другие безделушки удавалось обнаружить различные чертежи, указания для бомбежек и сведения о военных мероприятиях союзников.

После окончания войны «черный свет» быстро нашел применение в промышленности и науке. В первую очередь его стали применять в текстильной промышленности, где большое значение имеет окраска продукции. Например, искусственные шелка, одинаковые при дневном свете, под воздействием «черного света» легко отличаются друг от друга и от натурального шелка.

На бумажных фабриках на основании цвета флюоресценции определяют качество целлюлозы, а также способность ее к белению.

В химической промышленности «черный свет» позволяет распознавать натуральные смолы и резины.

Важное значение имеет применение «черного света» при исследовании растительных и минеральных масел. Масла, добытые, к примеру, в Турции, Румынии и Америке дают различную флюоресценцию.

Использование «черного света» в пищевой промышленности позволяет бороться с попаданием на рынки испорченных или поддельных продуктов.

Области применения «черного света» весьма различны. Но техника исследования далеко не проста. Необходимо учитывать, что на характер флюоресценции оказывают влияние многие косвенные обстоятельства, например температура.

Ш. Дере для ряда веществ установил полные спектры флюоресценции с характерными линиями, позволяющими производить исследования более точно, чем при простой оценке цвета.

#### **Библиографический список**

1. **Использование** ультрафиолетовых лучей. «Черный свет» в науке и промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.electrolibrary.info/history/cherniysvet.htm> (14.07.2013).

*Е.А. Скобкина, М.С. Кустикова, студенты,  
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ В РОССИИ**

Гидрогенератор – электрическая машина, предназначенная для выработки электроэнергии на гидроэлектростанции. Обычно гидроге-

нератор представляет собой синхронную явнополюсную электрическую машину вертикального исполнения, приводимую во вращение от гидротурбины.

Создателем первого трехфазного синхронного гидрогенератора мощностью 220 кВт и частотой вращения 150 об/мин в 1891 г. был М.О. Доливо-Добровольский. В СССР первая крупная работа по гидрогенераторам связана с Волховской ГЭС. Четыре гидрогенератора для этой станции под руководством А.Е. Алексеева, Р.А. Лютера и А.С. Шварца по собственным чертежам изготовлял завод «Электросила».

Следующим этапом в развитии гидрогенераторостроения явился выпуск гидрогенераторов для Нижнесвирской и Верхнесвирской ГЭС. Особое значение для производства гидрогенераторов имел уникальный заказ для Днепровской ГЭС: пять машин выполнялись американской фирмой «Дженерал электрик», а четыре – заводом «Электросила». Мощность каждой машины 62 МВт, масса 825 т.

В послевоенные годы интенсивное строительство ГЭС проводилось в европейской части страны. Особое значение для страны имел каскад Волжских ГЭС. Разработка гидрогенераторов на заводе «Электросила» велась под руководством А.С. Еремеева.

Разработка и производство гидрогенераторов для сибирских рек потребовали очень больших творческих усилий специалистов объединения «Электросила», работавших под руководством главного конструктора Н.П. Иванова, главного инженера П.М. Ипатов, конструкторов А.А. Дукштау и Ю.А. Дегусарова, а также руководителя расчётов Г.Б. Пинского.

К отдельному виду гидрогенераторов относятся асинхронизированные машины. В сущности, это машины двойного питания. Частота вращения ротора может быть меньше или больше синхронной в зависимости от направления вращения его собственного магнитного поля. Первый гидрогенератор такого типа мощностью 40 МВт и частотой вращения 136,4 об/мин был предложен в нашей стране М.М. Ботвинником и введен в эксплуатацию на Иовской ГЭС в 1962 г.

Асинхронизированные машины другого типа – турбогенераторы мощностью 200 МВт были созданы на заводе «Электротяжмаш» (г. Харьков).

К числу оригинальных решений гидрогенераторов относятся высоковольтные машины. Под руководством А.В. Иванова-Смоленского был разработан гидрогенератор мощностью 14,5 МВт, напряжением 121 кВ, изготовленный заводом «Уралэлектротяжмаш» и установленный на Сходненской ГЭС, где он прошел испытания [1].

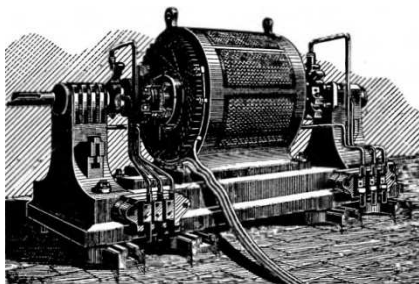
## Библиографический список

1. **Копылов И.П.** Электрические машины: учеб. для вузов. – 3-е изд., испр. – М.: Выс. шк., Логос, 2000. – 607 с.

*С.Л. Сафонов, Е.В. Корнилов, студенты,  
рук. В.А. Мартынов, д.т.н., профессор,  
А.В. Макаров, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**ВЫСТАВКА, ИЗМЕНИВШАЯ ЖИЗНЬ**

Выдающийся русский электротехник, создатель техники трехфазного переменного тока, конструктор электрических машин и аппаратов Михаил Осипович Доливо-Добровольский родился 2 января 1862 года. В 1878 году окончил реальное училище и уже 1 сентября этого же года поступил в Рижский политехнический институт. В нём за участие в антиправительственной агитации был исключён без права поступления в другие высшие учебные заведения Российской империи. В конце 1881 года Доливо-Добровольский поступил на электротехническое отделение машиностроительного факультета Дармштадтского высшего технического училища, где большое внимание уделялось практическим применениям электричества. Как раз в то время Профессор Китлер читал первый в мире курс электротехники. Именно он сумел увлечь Доливо-Добровольского исследованиями и дал ему порядочный запас знаний.



Последующая работа в исследованиях электрического тока и электротехники привела к разработке связанной трёхфазной системы, отличительной особенностью которой являлось использование для передачи и распределения электроэнергии только трёх проводов. Это улучшение позволило Доливо-Добровольскому создать кон-

струкцию асинхронного электродвигателя, чье генеральное испытание состоялось на международной электротехнической выставке во Франкфурте-на-Майне.

12 сентября 1891 года двигатель М.О. Доливо-Добровольского запустил декоративный водопад на выставке во Франкфурте-на-Майне, который приводился в действие энергией естественного водопада, удаленного от первого на 170 км. Что же представляла собой эта первая трехфазная линия? На гидроэлектростанции в Лауфене энергия, развиваемая турбиной, передавалась на вал трехфазного синхронного генератора (230 кВт, 150 об/мин, 95 В). От генератора медные шины вели к распределительному щиту. На нём были установлены амперметры и вольтметры, свинцовые предохранители и максимально-минимальные токовые реле, воздействовавшие на цепь возбуждения. В Лауфене и Франкфурте находилось по три трехфазных трансформатора с магнитопроводом призматической формы. В начале испытаний на каждом конце линии было включено по одному трансформатору мощностью 150 кВт. Трехпроводная линия была выполнена на деревянных опорах со средним пролетом около 60 м. Медный провод диаметром 4 мм крепился на штыревых фарфорово-масляных изоляторах. Интересной деталью линии являлась установка плавких предохранителей со стороны высокого напряжения. В начале линии в разрыв каждого провода был включен участок длиной 2,5 м, состоявший из двух медных проволок диаметром 0,15 мм каждая. Для отключения линии во Франкфурте посредством простого приспособления устраивалось трехфазное короткое замыкание, плавкие вставки перегорали, турбина начинала развивать большую скорость, и машинист, заметив это, останавливал её. На выставочной площадке во Франкфурте был установлен понижающий трансформатор, от которого при напряжении 65 В питались 1000 ламп накаливания, расположенных на огромном щите. Здесь же был установлен трехфазный асинхронный двигатель, приводивший в действие гидравлический насос мощностью около 100 л.с.

Испытания электропередачи, которые проводились международной комиссией, дали следующее: минимальный КПД электропередачи составил 68,5 %, а максимальный – 75,2 %; линейное напряжение при испытаниях составляло около 15 кВ. Полученные более 100 лет назад результаты научных работ гениального русского ученого и изобретателя М.О. Доливо-Добровольского имели выдающееся значение для мировой электроэнергетики, совпали с генеральным направлением ее развития и не потеряли своей актуальности в наши дни.

В 1914 году, когда разразилась Первая Мировая война, М.О. Доливо-Добровольский, сохранивший российское подданство, переехал в Швейцарию. В 1918 году он приехал в Берлин, предполагая вернуться к работе в фирме AEG. Однако болезнь сердца, мучившая его с детства,

обострилась. 15 ноября 1919 года М.О. Доливо-Добровольский умер в городе Гейдельберг в Германии.

**Библиографический список:**

1. **Храмов Ю.А.** Доливо-Добровольский Михаил Иосифович // Физики: Биографический справочник / Под ред. А.И. Ахиезера. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Наука, 1983. – 400 с.
2. **Доливо-Добровольский** Михаил Осипович // Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1969 – 1978.

# ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ДЕСЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
«ЭНЕРГИЯ-2015»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ  
Том 3. Часть 2  
Электронная версия сборника

*Составитель Макаров А.В.  
Компьютерная верстка Фомичевой А.В.  
Печатается в авторской редакции*

ФГОУВПО «Ивановский государственный  
энергетический университет им. В.И. Ленина»  
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.