

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики и методико-информационных технологий

**Электродвижущая сила: получение, передача,
преобразование в другие виды**

Автореферат

студентки 5 курса 533

направления 44.03.01 - «Физика» физического факультета

Лавриковой Алины Константиновны

Научный руководитель:

к. физ.- мат. наук, доцент



14.06.19

В.Б. Гаманюк

Зав. кафедрой: профессор, д. физ.-мат.н.



18.06.19

Б.Е. Железовский

Саратов, 2019 год

Введение

Для современного человека использование электроэнергии стало настолько обыденным, что наличие розетки в вашей квартире кажется само собой разумеющимся. В действительности электроснабжение потребителей требует системного решения ряда довольно сложных научных и технических задач.

Во-первых, электричество нужно произвести в промышленных масштабах, причем там, где это экономически оправдано, то есть имеются соответствующие ресурсы, например, топливо и вода. В этой связи актуален поиск способов получения электроэнергии на основе берегающих технологий – ветра, воды, солнечной энергии. Использование источников энергии на новых принципах, в свою очередь, потребует решить задачу их адаптации к уже существующей инфраструктуре.

Как правило, производство электроэнергии имеет и негативные стороны: возникают проблемы экологического, климатического и социального характера, требующие своего разрешения.

Полученную энергию с минимальными потерями необходимо доставить пользователям, находящимся в различных населенных пунктах, в том числе и достаточно далеко от фабрик электричества. Здесь также возникают свои трудности.

Поскольку в чистом виде электричество даже опасно – мы боимся удара молнии или поражения от других источников тока, необходимо научиться с высоким коэффициентом полезного действия (*КПД*) преобразовывать электроэнергию в другие виды, нужные человеку: тепло, свет, звук, механическую работу

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является разработка учебно-методического пособия для старших классов школ с профильным обучением, позволяющего познакомить учащихся с тем, как в современных условиях осуществляется производство электроэнергии, её доставка и преобразование в другие виды. Использование запланированной

разработки должно расширить кругозор и повысить уровень технической культуры школьников и оказать тем самым определенное влияние на их профориентацию.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие *задачи* дипломного исследования:

1. Провести теоретико-методологический обзор соответствующей учебной и методической литературы по выбранной теме.

2. На этой основе составить учебно-методическое пособие, соответствующее уровню знаний школьников старших классов профильного обучения.

Настоящая выпускная квалификационная работа состоит из введения, в котором обоснована её необходимость, основной части из пяти глав, заключения и списка использованных источников.

В первой главе описаны основные способы получения электроэнергии.

Во второй главе рассматриваются возможные виды электростанций, анализируются их достоинства и недостатки.

Третья глава посвящена проблемам передачи электроэнергии и способам их решения.

В четвертой главе говорится о преобразовании электричества в другие виды энергии. Рассматриваются устройства, посредством которых возможны такие преобразования.

Пятая глава посвящена перспективам развития электроэнергетики.

В заключении дается оценка проведенной работы.

Краткое содержание

Данная выпускная квалификационная работа представляет собой учебно-методическое пособие предназначенное для старших классов школ с профильным обучением. Ориентированное на ознакомление учащихся с тем, как в условиях современного времени осуществляется производство электроэнергии, её передача и преобразование в другие виды. Использование данного учебно-методического пособия должно расширить кругозор и повысить не только уровень технической культуры школьников, но и оказать влияние на их отношение к выбору будущей профессии, помочь учащимся в профориентации.

В первой главе выпускной квалификационной работы рассмотрены источники тока по основным способам получения электроэнергии.

Перечислены следующие виды источников тока:

1. Химические источники тока
2. Гальванические элементы
3. Электрические аккумуляторы
4. Механические генераторы электроэнергии
5. Солнечные элементы
6. $p-n$ - переход и его свойства
7. Фото ЭДС
8. Электростанции

Во второй главе рассматриваются возможные виды электростанций, анализируются их достоинства и недостатки.

Типы электростанций:

1. Тепловые электростанции
2. Атомные электростанции
3. Гидроэлектростанции

Третья глава посвящена проблемам передачи электроэнергии и способам их решения.

В четвертой главе говорится о преобразовании электричества в другие виды энергии. Рассматриваются устройства, посредством которых возможны такие преобразования.

Пятая глава посвящена перспективам развития электроэнергетики.

В заключении дается оценка проведенной работы.

1) Химические источники тока

Химические источники тока (ХИТ) [1] стали первыми, нашедшими широкое практическое применение. В них *энергии постоянного электрического тока возникает непосредственно в результате химической реакции двух реагентов*, то есть одноступенчато. Это обстоятельство является определенным преимуществом ХИТ.

Гальванические элементы

Все ХИТ можно разделить на два больших класса – *первичные* и *вторичные*. В первых химические реакции являются *необратимыми*, а во вторых – *обратимыми*. Соответственно – вторичные элементы, которые известным нам как аккумуляторы, можно восстановить (зарядить) и использовать заново.



Рисунок 1 – Устройство гальванического элемента Лекланше

Несмотря на появление других первичных источников тока с более высокими характеристиками, усовершенствованные элементы Лекланше используются в очень широких масштабах и до настоящего времени, главным

образом благодаря его относительно низкой цене. Нам, например, они известны как батарейки типа «А», «АА» и «ААА». Их электродвижущая сила (ЭДС) около 1,5 В.

Электрические аккумуляторы

Электрический аккумулятор – это химический источник электрического тока, основная специфика которого заключается в способности на обратимость внутренних химических процессов, что обеспечивает его многократное циклическое использование.

При подключении к электродам аккумулятора внешней нагрузки (**разряд** аккумулятора) начинается электрохимическая реакция взаимодействия оксида свинца и серной кислоты. В результате металлический свинец превращается в **сульфат** ($PbSO_4$), на катоде происходит восстановление диоксида свинца, а на аноде – окисление свинца.

Если клеммы аккумулятора подключить в внешнему источнику тока (**зарядить** аккумулятор), протекают обратные реакции. ЭДС свинцового кислотного аккумулятора равна 2,11 В.

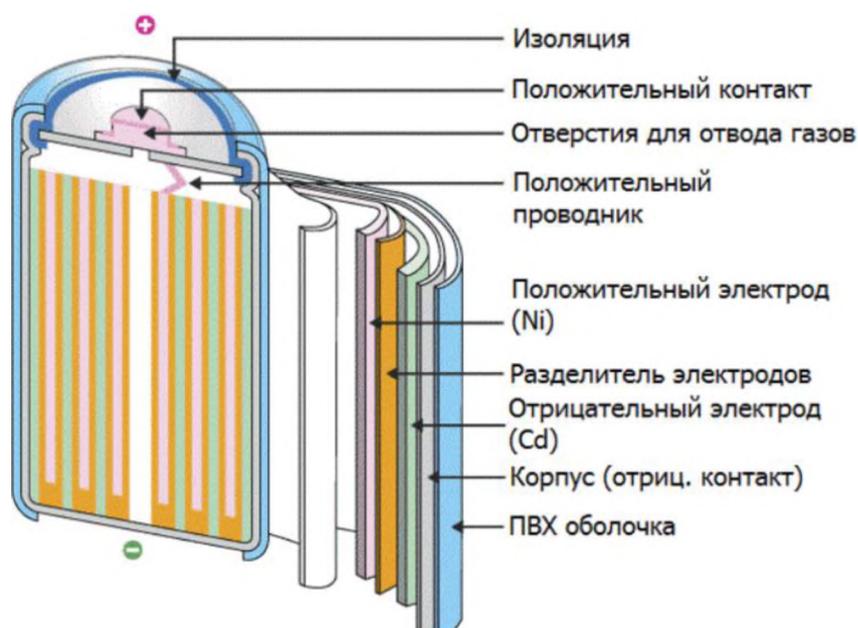


Рисунок 2. Разрез цилиндрического щелочного аккумулятора

Известны также электрические аккумуляторы, в которых электролитом являются водные растворы KOH или $NaOH$ (рисунок 2) [6]. Они называются **щелочными** и различаются по типам материалов, используемых для

изготовления их электродов. Наиболее распространены никель-кадмиевые (НК) и никель-железные (НЖ) аккумуляторы.

У щелочных аккумуляторов ЭДС равна 1,34 – 1,38 В, то есть заметно меньше по сравнению с кислотными.

Механические генераторы электроэнергии

В 1831 году Майкл Фарадей открыл, что при всяком изменении магнитного потока Φ , пронизывающего поверхность, ограниченную проводящим замкнутым контуром, в нем возникает электрический ток [8]. Этот ток был назван *индукционным*, а само явление – *электромагнитной индукцией*. Закон Фарадея привел к технической революции – промышленному производству электрической энергии.

Если в однородном магнитном поле индукции \vec{B} расположить элемент плоскости площадью S с нормалью \vec{n} к нему, то величина магнитного потока через такую площадку равна [9]

$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad (1)$$

где α – угол между векторами \vec{B} и \vec{n} .

На языке силовых линий магнитный поток представляет собой *число этих линий, «пронизывающих» находящуюся в поле поверхность*.

Поток вектора магнитной индукции Φ через всю поверхность равен алгебраической сумме потоков через её отдельные части, то есть

$$\Phi = \sum_{k=1}^N \Delta\Phi_k = \sum_{k=1}^N B_k \Delta S_k \cos \alpha_k. \quad (2)$$

Было бы правильнее в (2) проводить не суммирование, а интегрирование по всей поверхности.

Для возникновения тока в замкнутой цепи нужно чтобы в ней начала действовать электродвижущая сила (ЭДС). Следовательно, при изменении магнитного потока в контуре возникает некая электродвижущая сила E_i , названная ЭДС индукции. Оказалось, что её величина определяется быстротой изменения магнитного потока [10]:

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (3)$$

Знак «минус» в (3) отражает правило Ленца, сформулированное им в 1833 г.: «*Индукционный ток всегда имеет такое направление, чтобы препятствовать причине, его вызвавшей*» [10]. Это правило отражает закон сохранения энергии для электромагнитных явлений.

Из (1) следует, что Φ можно изменять тремя способами:

1. Изменяя величину магнитной индукции (например, приближая или удаляя постоянный магнит по отношению к выбранной площадке).
2. Изменяя площадь контура, пронизываемого магнитным полем.
3. Изменяя угол α .

Широкое практическое применение нашел только третий из них.

Поместим в однородное поле плоский проводящий контур прямоугольной формы (рамку) площади S , так, чтобы её ось симметрии OO_1 была расположена в плоскости, перпендикулярной силовым линиям магнитного поля, и пересекала их под прямым углом.

Пусть в начальный момент времени нормаль \vec{n} к части плоскости, ограниченной рамкой, образует угол α_0 с направлением внешнего магнитного поля. Если начать вращение рамки с постоянной угловой скоростью ω , то угол α между векторами \vec{n} и \vec{B} с течением времени будет изменяться по линейному закону

$$\alpha = \omega \cdot t + \alpha_0, \quad (4)$$

Подставляя это значение в (1), имеем

$$\Phi = BS \cos \alpha = BS \cos(\omega t + \alpha_0). \quad (5)$$

Значит, ЭДС индукции E_i , возникшая в рамке, по величине равна

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\omega \sin(\omega t + \alpha_0). \quad (6)$$

Очевидно, если бы рамка содержала не один, а N витков провода, то во столько же раз возросла бы и величина E_i :

$$E_i = NBS\omega \sin(\omega t + \alpha_0) = E_{im} \sin(\omega t + \alpha_0). \quad (7)$$

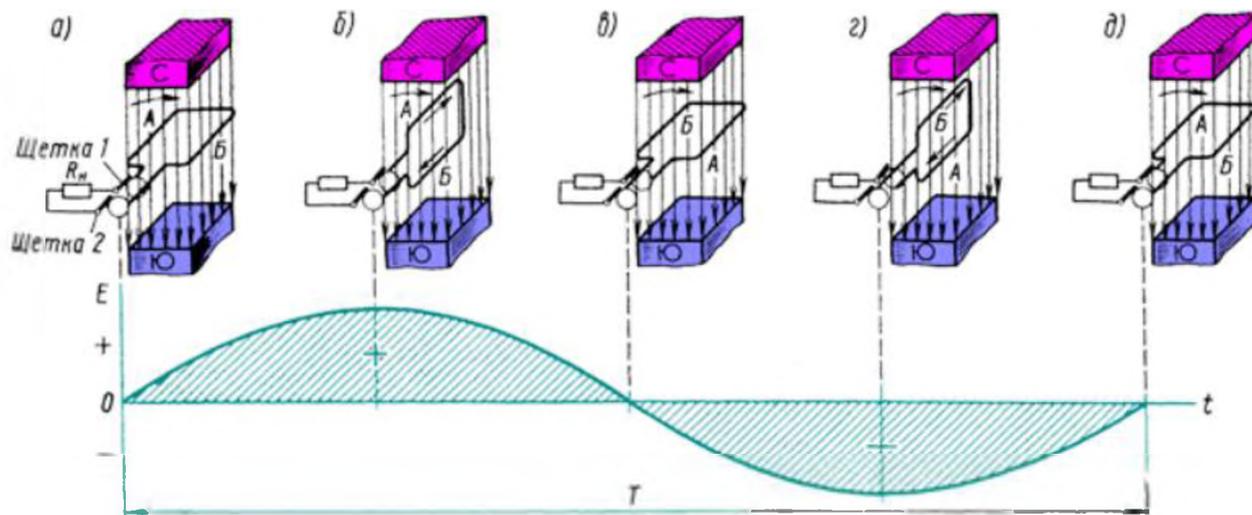


Рисунок 3 – Этапы получения переменного тока

Таким образом, в рамке возникает ЭДС индукции, изменяющаяся по гармоническому закону с циклической частотой ω , амплитудой E_{im} , фазой $\omega t + \alpha_0$, где α_0 – начальная фаза. Циклическая частота связана с периодом T и частотой f изменения ЭДС соотношениями

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f. \quad (8)$$

Для того чтобы эта ЭДС питала не саму рамку, а внешние цепи, нужно сделать разрыв в её обмотке, и свободные концы присоединить к приемнику электрической энергии. Учитывая, что для получения ЭДС рамка должна непрерывно вращаться, желаемого результата можно достичь, используя систему двух металлических электродов, соосно расположенных относительно рамки. К ним присоединяются выводы рамки и прижимаются упругие пластинки, названные щетками. Указанными электродами могут быть либо два отдельных кольца, либо два полукольца, расположенные в одной плоскости. Щетки являются неподвижной частью системы, и поэтому подключение потребителей осуществляется весьма просто [11].

В первом случае будет вырабатываться ток, *периодически изменяющий направление и величину*. Такой ток называется *переменным* (рисунок 3) [12].

Важной характеристикой переменного тока является его *действующее (или эффективное)* значение. Оно равно силе такого постоянного тока, при котором за время периода переменного тока в проводнике выделяется такое же количество теплоты, как и при протекании переменного тока. Расчёты показывают, что действующие значения силы тока или напряжения (их будем обозначать прописными латинскими буквами без индексов) меньше амплитудных в $\sqrt{2}$ раз. Например, $I = I_m/\sqrt{2}$.

Для тех, кто усвоил азы высшей математики, покажем, каким образом получают действующие значения.

По определению

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}.$$

В нашем случае ток синусоидальный. Значит,

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = I_m \sqrt{\frac{1}{2T} \int_0^T (1 - \cos 2\omega t) dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Следует отметить, что *измерительные приборы, предназначенные для цепей переменного тока, регистрируют эффективные значения электрических величин*. Действующие значения *определяются только амплитудой, но не частотой переменного тока*.

Такие системы получили *название механических генераторов электроэнергии (МГЭ)*. Безусловно, конструкция реальных МГЭ намного сложнее.

Солнечные элементы

Солнечный элемент (СЭ) – это электронное устройство, напрямую преобразующее солнечное излучение в электричество. Для работы подобного устройства нужно, во-первых, иметь материалы, в которых поглощенный свет

возбуждает свободные носители заряда и, во-вторых, создать ЭДС, перемещающую их во внешней цепи.

Несмотря на то, что указанное выше преобразование света в электричество можно осуществить несколькими способами, основными (почти 90% от произведенных) являются СЭ с *p-n*- переходом на основе кремния [15].

***p-n*- переход и его свойства**

Полупроводниками называют вещества, удельное сопротивление которых при комнатной температуре (300°K) имеет величину от 10^{-6} до 10^8 Ом•м.

Первыми полупроводниковыми материалы, нашедшими наибольшее распространение, получили элементы из четвертой группы периодической таблицы – **германий** и **кремний**, кристаллы которых образовались за счет ковалентных связей между соседними атомами

Химически чистые полупроводники с геометрически идеальной кристаллической решеткой называются **собственными**. В них при комнатных температурах небольшая часть ковалентных связей может разорваться и в результате образуется пара свободных носителей – **электрон** и **дырка**. Это явление называется **генерацией электронно-дырочных пар**. При этом концентрация *n* свободных электронов равна концентрации *p* свободных дырок.

Наряду с генерацией носителей происходит их «гибель» за счет альтернативного явления – **рекомбинации**. В результате динамического равновесия этих процессов при каждой температуре кристалла устанавливается вполне определенная концентрация электронов и дырок, которую обозначают символом n_i . Для $T = 300\text{K}$ у германия $n_i = 2,5 \cdot 10^{13}\text{см}^{-3}$, у кремния $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}\text{см}^{-3}$. По сравнению с концентрацией самих атомов ($\sim 5 \cdot 10^{22}\text{см}^{-3}$) эти значения ничтожно малы.

При замещении атома основного вещества атомом элемента пятой группы периодической таблицы (их называют **донорами**), его четыре

валентных электрона будут использованы для установления связей с соседями, а пятый становится лишним. Кристалл в целом, заметно ослабляет связь этого пятого электрона с ядром донора. Поэтому даже при низких температурах, когда величина n_i была бы ничтожно мала, в кристалле будут свободные электроны от каждого атома примеси. В результате все доноры станут заряженными ионами. Требование электрической нейтральности полупроводника приводит к соотношению

$$N_d + p = n, \quad (9)$$

которое имеет следующий смысл: *сумма концентраций положительно заряженной донорной примеси N_d и свободных дырок p должна быть равна концентрации n свободных электронов* [16].

Если концентрация доноров, намного превышающей собственную, электропроводность кристалла будет обусловлена главным образом электронами (*основными носителями*). Такие полупроводники называют *электронными* или *n -типа*.

Представим себе, что одна из половин единого монокристалла обладает p -типом проводимости, а другая является полупроводником n -типа. *Область, в которой происходит смена типа проводимости с дырочной на электронную, называется p - n -переходом* [16].

Фото ЭДС

Генерация электронно-дырочных пар в полупроводнике с шириной запрещенной зоны ΔE_g возможна не только за счет тепла, но и света, энергия кванта которого $h\nu \geq \Delta E_g$.

Солнечный элемент представляет собой конструкцию, состоящую из тонкой пластины кремния, внутри которой созданы две области с разными типами проводимости [17]. Между ними образуется p - n -переход. На освещаемой поверхности расположена металлическая сетка, выполняющая функцию электрода.

Электрически активный свет поглощается уже в тонком поверхностном слое вблизи перехода. Возникшие при этом носители заряда диффундируют вглубь структуры. Подавляющее число таких носителей окажется в области электрического контактного поля перехода. Это поле разделяет их по знаку заряда и направляет электроны в n -область, а дырки в p -область перехода. Между p - и n -областями возникает фото ЭДС. Если p - n -переход включить в замкнутую цепь, то в ней потечет ток I_{ϕ} , называемый первичным фототоком. Рассмотренное явление получило название **фотогальванического** или **вентильного фотоэффекта**.

Заключение

В итоге проделанной работы составлено учебно-методическое пособие, посвященное возможным способам получения электрической энергии, включая промышленное производство, её доставку потребителям и устройствам, преобразующим электричество в необходимые человеку виды энергии. Выбранный уровень изложения материала ориентирован на объем знаний школьников старших классов. Таким образом, поставленное задание вполне можно считать выполненным.

Для лучшего понимания физической сути описываемых явлений и процессов, а также особенностей конструкции некоторых машин и агрегатов в пособии приведены соответствующие аналитические соотношения, формулы, схемы и поясняющие иллюстрации. Кроме того, приведены некоторые количественные параметры элементов энергосистем, позволяющие провести их сравнительный анализ.

На наш взгляд настоящая выпускная квалификационная работа сможет помочь школьникам выбрать будущую профессию, расширить свой кругозор, получить знания, которые полезны и в обыденной жизни. Вероятно, она окажется полезной и учителям, поскольку рассмотренные в ней вопросы естественным образом могут быть состыкованы с рядом тем раздела «Электричество и магнетизм» школьной программы по физике.

Список использованных источников

1. Шеханов Р.Ф., Ершова Т.В. Химические источники тока: лабораторный практикум / Р.Ф.Шеханов, Т.В.Ершова. Ивановский гос.-хим. университет: Иваново, 2008, 36 с.
2. Началось все с лягушки [Электронный ресурс], URL: <http://www.powerinfo.ru/galvani.php> (дата обращения 01.11.2018)
3. Химические источники тока. Элемент Вольта [Электронный ресурс], URL: <https://studfiles.net/preview/3494044/page:16/> (дата обращения 01.11.2018)
4. Элемент Лекланше [Электронный ресурс], URL: http://4108.ru/u/element_leklanshe (дата обращения 01.11.2018)
5. Принцип работы свинцового аккумулятора [Электронный ресурс], URL: http://k-a-t.ru/mdk.01.01_elektro/2-ab/index.shtml (дата обращения 03.11.2018)
6. Лекция 5. Конструкция и принцип действия щелочных аккумуляторов [Электронный ресурс], URL: <https://helpiks.org/6-18747.html> (дата обращения 08.11.2018)
7. Основные электрические характеристики аккумуляторов [Электронный ресурс], URL: <https://studfiles.net/preview/5157512/page:12/> (дата обращения 18.11.2018)
8. Явление электромагнитной индукции [Электронный ресурс], URL: <http://mirznanii.com/a/323994/yavlenie-elektromagnitnoy-induktсии> (дата обращения 21.11.2018)
9. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника./А.С.Касаткин, М.В.Немцов. М.:Академия, 2005. 544 с.
10. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 Т. Т. 2. Электричество и магнетизм / И.В. Савельев. М.: Наука, 2009. 442 с.
11. Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г. Цепи переменного тока: учебное пособие. / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева. Саратов: Изд-во. СРОО «Центр» Просвещение», 2014. с.82.

12. Как устроены генераторы постоянного и переменного тока [Электронный ресурс], URL: <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/1706-kak-ustroeny-generatory-postojannogo-i.html> (дата обращения 27.11.2018)
13. Генераторы переменного тока [Электронный ресурс], URL: https://ds02.infourok.ru/uploads/ex/01d2/00009e11-ca8eeb29/hello_html_4616bd0e.png (дата обращения 27.11.2018)
14. Генераторы переменного тока [Электронный ресурс], URL: http://www.autoscience.ru/blog/generatory_peremennogo_toka/2013-12-18-39 (дата обращения 27.11.2018)
15. Солнечные элементы: фотоэлементы для солнечных батарей [Электронный ресурс], URL: <https://batteryk.com/solnechnye-elementy> (дата обращения 30.11.2018)
16. Гаманюк В.Б. Полупроводники и полупроводниковые приборы: учебное пособие / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева, В.А.Рачков. Саратов: Издательский Центр «Наука», 2008. 68с.
17. Фотовольтаический эффект в *p-n*- переходе [Электронный ресурс], URL: <https://megaobuchalka.ru/6/50055.html> (дата обращения 03.12.2018)
18. Электрическая станция [Электронный ресурс], URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc1p/53442> (дата обращения 05.12.2018)
19. Ранние электростанции [Электронный ресурс], URL: <https://tech.wikireading.ru/15681> (дата обращения 05.12.2018)
20. Электроэнергетическое хозяйство России [Электронный ресурс], URL: <http://электротехнический-портал.рф/energo-komleks-rf/116-electro-hozaystvo-rossii.html> (дата обращения 09.12.2018)
21. АЭС: принцип работы и устройство. История создания АЭС [Электронный ресурс], URL: <http://fb.ru/article/184999/aes-printsip-raboty-i-ustroystvo-istoriya-sozdaniya-aes> (дата обращения 19.12.2018)
22. Атомные электрические станции (АЭС). Принципиальная схема АЭС. Технологические схемы атомной электростанции (АЭС) [Электронный ресурс], URL: <http://www.gigavat.com/aes.php> (дата обращения 21.12.2018)

23. 3.2.4. Тепловые схемы АЭС [Электронный ресурс], URL: <https://studfiles.net/preview/2652755/page:31/> (дата обращения 23.12.2018)
24. ГИДРОЭНЕРГЕТИКА [Электронный ресурс], URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_colier/6703/ (дата обращения 23.12.2018)
25. Энергетика России [Электронный ресурс], URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 23.12.2018)
26. Электрические сети. Номинальные напряжения. Допустимые отклонения [Электронный ресурс] URL: <http://allofenergy.ru/12-rasshifrovka-naimenovaniya-generatora> (дата обращения 27.12.2018)
27. В другие виды энергии [Электронный ресурс] URL: <https://lektsii.com/1-174535.html> (дата обращения 05.01.2019)
28. Что такое бесколлекторный двигатель постоянного тока и его принцип работы [Электронный ресурс] URL: <https://www.asutpp.ru/chto-takoe-beskollektornyj-dvigatel-postoyannogo-toka-i-ego-princip-raboty.html> (дата обращения 12.01.2019)
29. Бесколлекторные двигатели постоянного тока. Устройство бесколлекторного двигателя [Электронный ресурс] URL: <http://www.avislab.com/blog/brushless02/> (дата обращения 18.01.2019)
30. Как работает трехфазный асинхронный двигатель? [Электронный ресурс] URL: <https://domelectrik.ru/oborudovanie/dvigatel/trekhfaznaya-asinhronnaya-mashina> (дата обращения 24.01.2019)
31. Основные направления и перспективы развития альтернативной энергетики [Электронный ресурс] URL: <https://ecoteco.ru/library/magazine/zhurnal-211/tehnologii/osnovnye-napravleniya-i-perspektivy-razvitiya-alternativnov-energetiki> (дата обращения 04.02.2019)
32. Проблемы использования возобновляемыми источниками энергии [Электронный ресурс] URL: <http://myelectro.com.ua/99-analiticheskie-stati/131-problemy-s-vozobnovlyаемymi-istochnikami-energii> (дата обращения 12.02.2019)

33. Принцип работы ветрогенератора [Электронный ресурс] URL: <https://tcip.ru/blog/wind/printsip-dejstviya-i-raboty-vetrogeneratora.html> (дата обращения 16.02.2019)

34. Схемы подключения ветрогенераторов и солнечных панелей с основной сетью [Электронный ресурс] URL: <http://myelectro.com.ua/99-analiticheskie-stati/126-skhemu-podklyucheniya-vetrogeneratorov-i-solnechnykh-panelej-s-osnovnoj-seyu> (дата обращения 19.02.2019)

