

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики и  
методико-информационных технологий

**Демонстрационные опыты по электростатике**

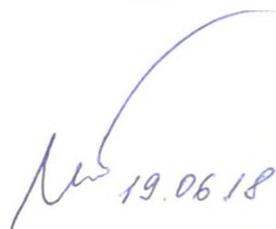
АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 5 курса 533 группы физического факультета  
направления 44.03.01 «Педагогическое образование»

Попченко Антона Анатольевича

Научный руководитель:

к. ф.- м. н., доцент



В.Б. Гаманюк

Зав. кафедрой: профессор, д. ф.-м.н.



Б.Е. Железовский

Саратов, 2018

## Введение

Не вызывает сомнения тот факт, что электрическая энергия имеет весомые преимущества над другими видами энергии. Это утверждение можно подкрепить следующими фактами:

1. Относительной простотой производства;
2. Возможностью практически мгновенно передавать большую энергию на значительные расстояния при малых потерях;
3. Простотой преобразования в другие виды энергии, например, механическую, тепло, световую;
4. Простотой и удобством управления электрическими приборами и установками;
5. Высоким коэффициентом полезного действия электроустановок.

Кроме того, использование электроэнергии, как правило, не вызывает загрязнения окружающей среды.

Сказанное выше объясняет устойчивую тенденцию по внедрению «электричества» в различные сферы народного хозяйства, техники и науки. Например, для приготовления пищи вместо газовых плит все шире используются электрические, а двигатели внутреннего сгорания на транспорте вытесняются электромоторами.

Безусловно, без специалистов в области электротехники и электроники запланированную модернизацию реализовать затруднительно. Подготовка таких кадров должна начинаться уже со школьной скамьи. Поэтому, начиная с этого этапа профильного обучения, важно обеспечить прочные знания в рамках раздела «Электродинамика» общего курса физики, который, в свою очередь, начинается с изучения «Электростатики». Здесь учащиеся знакомятся с фундаментальными законами и принципами, новыми физическими величинами и соотношениями между ними, которые необходимы для глубокого осмысления содержания последующих тем.

Качество знаний можно существенно повысить, если на уроках наряду с традиционным изложением учебного материала используются умело поставленные демонстрации. Такой подход в полной мере может быть исполь-

зован и при изучении электростатики. При этом из всех возможных опытов желательно выделить те, которые бы связали теорию с практикой, то есть показали, что изучаемые явления и рассматриваемые модели могут найти реальное применение. **Целью** настоящей выпускной квалификационной работы как раз и является разработка таких демонстраций.

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

1. На основе анализа литературных и иных источников сформулировать требования, которым должен удовлетворять учебный эксперимент.
2. Составить обзор необходимых сведений из теории электричества.
3. На этой основе разработать серию демонстрационных экспериментов по электростатике с последующим толкованием их результатов.

Работа состоит из **введения, основной части из трех глав, заключения и списка использованных источников.**

Во **введении** обосновывается актуальность выбранной темы.

В **первой главе** основной части содержатся сведения о том, что представляет собой демонстрационный эксперимент, какова его роль в обучении, какие требования к нему предъявляются.

Во **второй главе** приведены сведения из теории, достаточные для понимания последующего изложения.

**Третья глава** содержит описание предлагаемых демонстрационных опытов.

В **заключении** обсуждаются результаты проделанной работы, и дается им оценка.

### **Основная часть**

В **первой главе** приводятся требования, которым должен удовлетворять демонстрационный эксперимент работы и рассматривается, какое ему отводится место в процессе обучения.

Изложение курса физики в средней школе должно широко опираться на эксперимент. Это обусловлено тем, что основные этапы формирования фи-

зических понятий – наблюдение явления, установление его связей с другими, введение величин его характеризующих, не могут быть эффективными без применения физических опытов.

Система учебного эксперимента по физике включает следующие виды:

1. **Демонстрационные** опыты (демонстрационный эксперимент). Такие эксперименты имеют высокую педагогическую эффективность, поскольку учитель руководит наблюдением школьников и обращает их внимание на важные для понимания сущности явления обстоятельства.
2. **Фронтальные** лабораторные работы, опыты и наблюдения.
3. **Физические практикумы.**
4. **Внеклассные** опыты и наблюдения.

Чтобы принять решение о типе планируемого эксперимента, в первую очередь необходимо уяснить, какую функцию он должен выполнять в каждом конкретном случае.

Поскольку современная методика физики предлагает большое количество демонстраций из каждой темы школьного курса физики, перед учителем всегда возникает проблема отбора опытов при подготовке к каждому уроку. При наличии нескольких вариантов опытов следует отобрать те, которые:

- наиболее полно отвечают теме и дидактическим целям урока;
- эффективно вписываются в логическую структуру урока;
- наиболее выразительно иллюстрируют явление или физическую теорию;
- могут быть воспроизведены на самом простом оборудовании (но без потери эффективности).

**Другие методические требования к организации демонстрационного эксперимента таковы:**

1. Самым важным требованием к постановке учебного эксперимента является выразительность демонстрации, которую можно достичь за счёт **сведения к минимуму побочных факторов**, которые могут дать повод к неправильному толкованию опыта.

2. Идея опыта, его ход и полученные результаты должны быть понятными ученикам. Поэтому учитель должен *объяснить схему установки, все ее составляющие, обратить внимание на измерительные приборы, или на элементы, ответственные за наблюдаемый эффект.*
3. При возможности опыты нужно ставить в *нескольких вариантах.*
4. Количество демонстраций на уроке *не должна быть слишком большим.*
5. Если позволяет оборудование, демонстрационные опыты следует проводить *с установлением количественных соотношений.*
6. Демонстрационную установку следует *собирать перед учениками* в процессе преподавания учебного материала. Лишь при условии использования очень сложного оборудования, установка может быть собрана предварительно (по этой причине не следует увлекаться использованием готовых стендов).
7. *Демонстрационная установка должна быть максимально надежной, а техника демонстрации отработанной.*
8. В случае отказа установки, следует отыскать и *быстро ликвидировать неисправность, а опыт повторить*, достигнув позитивного результата. Если это сделать при данных обстоятельствах невозможно, необходимо объяснить ученикам причину отказа и обязательно воспроизвести демонстрацию на следующем уроке.
9. Не следует *подменять* демонстрационный эксперимент, доступный для школьных условий, показом соответствующих кинофрагментов или компьютерным моделированием.
10. Важным фактором при разработке и выборе эксперимента является *простота и кратковременность* подготовки опыта.
11. Демонстрации должны создавать в сознании учащихся *яркие образы*, надолго остающиеся в их памяти. Поэтому окраска, форма, расположение, размеры приборов играют в этом процессе важную роль. Нельзя забывать, что тут значительна та психологическая установка, которая создаётся учителем в ходе объяснения нового материала.

12. Планирование демонстрационных опытов следует проводить с учетом возрастных особенностей учащихся. Поэтому необходимо выполнять требование *доступности* той информации, которую должен нести учащимся данный эксперимент.

13. При выборе эксперимента следует учитывать его *эмоциональное воздействие*. Эксперимент должен вызывать у учащихся различные эмоции: удовольствие, уверенность в своих знаниях, восхищение, удивление, любопытство, недоумение.

Требования к *техническим средствам*, используемым для проведения демонстраций:

- при проведении опыта они не должны обесценивать его научной значимости и давать достоверные результаты;
- поскольку демонстрации воспринимаются одновременно группой учащихся, важно обеспечить максимум визуальной доступности ожидаемого результата и важнейших составных частей демонстрационной установки.

Чтобы не обращаться к первоисточникам, *во второй главе* приведены сведения из теории электричества, в объеме, достаточном для понимания последующего изложения.

Здесь дано определение электрическому заряду:

*электрический заряд* – скалярная физическая величина, обозначаемая обычно буквами  $q$  или  $Q$ , характеризующая свойство частиц или тел вступать в электромагнитные силовые взаимодействия.

Далее описывается устройство школьного электрометра, с помощью которого можно оценивать величину заряда, даются формулировка закона Кулона и изображение крутильных весов, которые были им сконструированы и использованы в опытах. Вместе с понятиями напряженности электрического поля и его потенциала приведены соотношения, по которым вычисляются эти физические величины в случае точечного заряда.

Сформулирован принцип суперпозиции и сказано, как он может быть использован при решении задач электростатики.

Дана формула для энергии взаимодействия системы точечных зарядов.

Рассмотрена возможность визуализации электрических полей при помощи силовых линий и эквипотенциальных поверхностей.

Особое внимание уделено конденсатору. Это обусловлено тем, что данный прибор находит все более широкое применения в различных сферах науки и техники как накопитель энергии. Начиная с объяснения, что он собой представляет, приведены формулы для емкости плоского конденсатора и его энергии, расчетные соотношения для определения электрических параметров различных соединений конденсаторов в батарее.

В последней, *третьей главе*, предложены демонстрации по электростатике. Для более глубокого понимания свойств и энергетических возможностей конденсаторов запланировано провести ряд предварительных опытов с заряженными металлическими телами.

Демонстрация того, как распределяется заряд на металлических телах, проводился на примере учебного пособия, получившего название «свинья» по причине своей формы – это полый цилиндр, заканчивающийся конусом.

После сообщения «свинье» заряда от электрофорной машины стрелка электрометра, соединенного с ней, отклонится на некоторый угол. Коснемся полым металлическим шаром, закрепленном на диэлектрическом стержне, внешней поверхности «свиньи», вынесем его наружу и передадим заряд шара второму – вспомогательному электрометру. Его стрелка отклонится. Значит, шар был заряжен от внешней поверхности «свиньи».

Восстановим заряд на «свинье» и коснемся её тем же шаром вблизи вершины конуса. Перенесем его заряд на вспомогательный электрометр, предварительно его обнулив. При этом стрелка повернется на несколько бóльший угол по сравнению с предыдущим опытом. Теперь шар зарядился сильнее. Такое возможно, если им коснулись в том месте, где заряды «свиньи» распределены плотнее.

Убедиться в том, что поверхность заряженного металлического тела имеет одинаковый потенциал можно, перемещая к ней конец соединенного с электрометром проводника. При этом положение стрелки электрометра изменяться не будет.

Опыт показывает, что электрические поля можно сделать «видимыми», используя прозрачную кювету с маслом большой вязкости, чаще всего касторовым, в которую помещена исследуемая система металлических электродов. В масло равномерно насыпается манная крупа. После того, как электроды получили заряд, в среде с манкой создаются электрические поля. Частицы крупы поляризуются и ориентируются по силовым линиям электрического поля, делая его «видимым». Подобным образом удалось показать, что заряд замкнутого металлического проводника сосредоточен на его внешней поверхности. Внутри электрода крупа остается не «организованной», в то время как снаружи от проводника идут «силовые» линии.

Соединим электрометр с каким-нибудь заряженным металлическим телом и приблизим к нему другой металлический предмет. При этом показание электрометра уменьшится. Так как касания между заряженным и приближаемым объектами не было, заряд электрометра не изменился. Значит, уменьшение потенциала можно объяснить только тем, что по сравнению с одиночным, система двух тел обладает бóльшей емкостью.

Структуру электрического поля можно обнаружить и с помощью «султанов» – небольших отрезков узких лент из тонкой бумаги или пластика, прикрепленных к поверхности исследуемого тела. После того как ему сообщат электрический заряд эти полоски ориентируются по силовым линиям возникшего поля. Таким способом показано, что в случае заряженной плоскости электрическое поле существует по обе стороны от неё, а в плоском конденсаторе оно сосредоточено между обкладками.

При проведении демонстрационных экспериментов с конденсаторами следует учесть, что чем больше их емкость  $C$  и напряжение на обкладках  $U$ , тем выше значение запасенной энергии  $W$ . Поскольку  $W$  определяется  $U^2$ ,

при равных прочих условиях следует отдать предпочтение конденсаторам с бóльшим рабочим напряжением. Однако необходимо учитывать, что с точки зрения электробезопасности, эта величина не должна превышать 42 В. Исходя из сказанного выше, а также соображений экономического характера, для экспериментов были выбраны *электролитические* конденсаторы емкостью 22000 Мх63В в количестве 4 штук. Столь большое значение емкости к тому же в значительной мере упрощает наблюдение за процессами зарядки и разряда, поскольку их время можно сделать весьма продолжительным. Наличие нескольких конденсаторов дает возможность проводить исследования электрических свойств их последовательных и параллельных соединений.

С целью упростить и одновременно ускорить проведение демонстра-



**Рисунок 1 – Конденсатор с зажимами**

ций выводы каждого конденсатора соединялись с зажимами. Для этого из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита были изготовлены пластины размером 60x20 мм с соответствующими сверлениями под выводы конденсатора и установку зажимов. Чтобы исключить электрический контакт между ними, верхний и нижний слой фольги при помощи резака разделялись пополам. Общий вид созданной конструкции приведен на рисунке 1.

Сначала проводились исследования процессов заряда и разряда конденсаторов. Они показали, что при параллельном соединении конденсаторов емкость батареи увеличивается, а при последовательном – уменьшается.

На примере школьных батарей конденсаторов показано, что при последовательном соединении двух конденсатором их заряды одинаковы.

При проведении демонстраций энергетических возможностей заряженного конденсатора все четыре конденсатора соединялись параллельно. Для уменьшения потерь в проводах, соединяющих батарею с приемниками энергии, они были изготовлены из двух шин сечением около 40 мм<sup>2</sup> с клемма-

ми под винт диаметром 8 мм на одном конце и четырьмя более тонкими короткими проводами с наконечниками рожкового типа для присоединения к конденсаторам, которые припаивались к другому концу.

Основная цель запланированных опытов состоит в том, что конденсатор, после того как в течение длительного времени зарядится от маломощного источника, может отдать в нагрузку большую мощность. При этом вначале разряда его внутреннее сопротивление практически равно нулю, то есть заря-

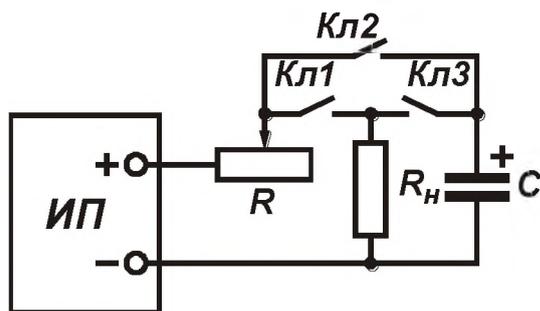


Рисунок 2 - Схема эксперимента

женный конденсатор проявляет себя как идеальный источник электроэнергии.

Некоторые эксперименты указанного характера проводились по схеме на рисунке 2. Здесь под символом  $R_H$  понимается любая подключаемая к конденсатору нагрузка, будь то лампочка накаливания или электромотор.

тору нагрузки, будь то лампочка накаливания или электромотор.

#### **Порядок проведения эксперимента:**

1. Установить напряжение источника питания, превышающее примерно на 20 – 30% рабочее напряжение нагрузки.
2. Перевести регулятор реостата  $R$  сопротивлением 100 – 300 Ом в положение наибольшего сопротивления.
3. На некоторое время замкнуть ключ  $Кл1$  и убедиться, что вследствие искусственно созданного большого внутреннего сопротивления источник питания не может обеспечить нормальный режим работы потребителя энергии. Если такого не произойдет, нужно воспользоваться реостатом с бóльшим сопротивлением.
4. Перевести  $Кл1$  в первоначальное состояние и замкнуть  $Кл2$  для зарядки конденсаторной батареи.
5. Через 60 – 90 с. разомкнуть  $Кл2$  и ключом  $Кл3$  к заряженному конденсатору присоединить нагрузку.

Если в качестве таковой использовалась лампочка накаливания, то она начнет светиться полным накалом, а электромотор – вращаться. Безуслов-

но, эти процессы будут кратковременными. Их продолжительность определяется величиной емкости конденсаторной батареи и мощностью нагрузки. Если, например, питать от нашего заряженного конденсатора светоизлучающий диод, то он будет «гореть» достаточно долго.

Соблюдая соответствующие меры предосторожности (работать в защитных очках и рукавицах), разрядим конденсаторную батарею, замыкая шины, идущие от клемм батареи. При этом к свободному концу одной шины присоединить медную пластинку, а ко второму концу другой – с помощью болта и гайки закрепить медный проволочный электрод диаметром 2,0 – 2,5 мм. В цепь разряда целесообразно включить балластный резистор малого сопротивления и большой мощности. Подбирая величину его сопротивления, можно добиться нужного тока короткого замыкания.

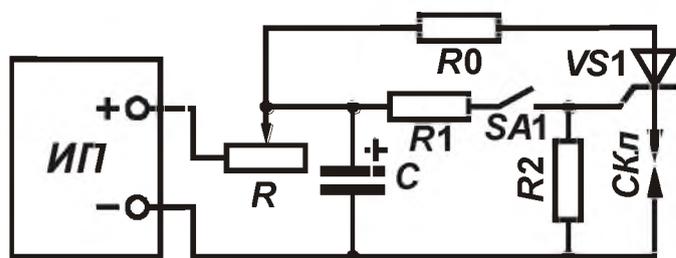
Проводя демонстрации для разных значений напряжений батареи, можно заметить, что в результате замыкания контактов они оплавляются. Отсюда следует, что в принципе, энергию заряженного конденсатора можно использовать для сваривания металлов. Конечно, дуговая сварка здесь невозможна по причине неизбежного уменьшения напряжения вследствие разряда конденсатора, а точечная – вполне реальна. Действительно, при напряжении конденсаторной батареи 40 В удалось произвести **ударно-**



**контактную** сварку (рисунок 3). Для этого соединение медной пластинки с проволокой пришлось произвести ударом молотка по последней. На пластинке также видны результаты предыдущих разрядов в виде оплавленных лунок.

**Рисунок 3 – Результат сварки**

Далее исследовалась возможность **контактной** сварки от имеющейся заряженной конденсаторной батареи. Для проведения такого эксперимента



нужны сварочные клещи (СКл), снабженные двумя

**Рисунок 4 - Схема для точечной сварки**

электродами из латуни, один из которых в рабочей части имеет конусообразную форму. Схема сварочной установки дана на рисунке 4. Здесь батарея конденсаторов  $C$  заряжается через реостат  $R$ . Ток через сжатые контакты  $СКл$  включается мощным тиристором  $VS1$  путем подачи кнопкой  $SA1$  напряжения на его управляющий электрод. Требуемый режим сварки устанавливается подбором величины балластного резистора  $RO$ . Поскольку зарядка конденсаторов производится через реостат достаточно большого сопротивления, нет необходимости при разряде батареи  $C$  отключать источник питания.

К сожалению, контактную сварку осуществить не удалось – энергии заряженных конденсаторов было недостаточно. Тем не менее, такой способ соединения элементов реален. Для достижения желаемых результатов предпочтение следует отдать повышению рабочего напряжения, а не емкости батареи.

### Заключение

Вполне можно считать, что задание, сформулированное для настоящей выпускной квалификационной работы, выполнено: разработан цикл экспериментов, основной целью которых явилась демонстрация свойств конденсаторов и их соединений, а также энергетических возможностей таких систем. Это представляется важным, поскольку, так называемые, суперконденсаторы находят все более широкое применение в различных областях народного хозяйства. Безусловно, осознавая полезность объекта исследований, гораздо легче усваивать теоретические положения, поясняющие принципы их устройства и работы.

Следует заметить, что опыты, проводимые с использованием зарядов высокого напряжения, очень чувствительны по отношению к влажности воздуха в лабораторном помещении, наличию заострений у электродов и расположению окружающих металлических предметов.

Предварительно, перед разделом, посвященном демонстрациям, в достаточном объеме представлены основные положения и соотношения из электростатики, необходимые для понимания основного содержания.

Помимо сказанного, в работе приведены основные требования, предъявляемые к демонстрационным опытам, что может быть весьма полезно учителю в своей педагогической деятельности.

### Список использованных источников

1. Методы обучения физике. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mpf.uni-altai.ru/pages/test/mof1.doc>, свободный (Дата обращения 22.04.2018)
2. Закон Кулона. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://calcsbox.com/post/zakon-kulona.html>, свободный (Дата обращения 25.04.2018)
3. Кохановский В.П. Основы философии науки: учебное пособие для аспирантов [Текст] / В.П.Кохановский, Т.Г.Аешкевич, Т.П.Матяш, Т.Б.Фахти. – Ростов н/Д.: «Феникс», 2008, 603 с.
4. Каменецкий С.Е. Теория и методика обучения физики в школе. Частные вопросы [Текст] / С.Е. Каменецкий, Н.С.Пурышева, Н.Е.Важеевская и др. – М.: «Академия», 2000, 368 с.
5. Подласый И.П. Педагогика. Новый курс: Учебник для студентов пед. вузов: В 2 кн. [Текст] / И.П.Подласый. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1999, Кн. 1: Общие основы. Процесс обучения, 576 с.
6. Классификация учебного эксперимента. Требования к его постановке. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://neudoff.net/info/fizika/klassifikaciya-uchebnogo-eksperimenta-trebovaniya-k-ego-postanovke/>, свободный (Дата обращения 28.04.2018)
7. Лекция 6. Демонстрационный физический эксперимент. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://fizmet.org/ru/L6.htm>, свободный (Дата обращения 30.04.2018)
8. Структура учебной экспериментальной деятельности. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://vuzlit.ru/790068/struktura\\_uchebnoy\\_eksperimentalnoy\\_deyatelnosti](https://vuzlit.ru/790068/struktura_uchebnoy_eksperimentalnoy_deyatelnosti), свободный (Дата обращения 30.04.2018)

9. Электрический заряд. Закон Кулона. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.its-physics.org/elektricheskiy-zaryad-zakon-kulonam>, свободный (Дата обращения 05.05.2018)
10. Эксперимент Ш. Кулона с крутильными весами. Закон Кулона. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://novmysl.ru/Electrodynamics/Coulomb.html>, свободный (Дата обращения 06.05.2018)
11. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 2. Электричество и магнетизм [Текст] / И.В. Савельев. – Спб.: Лань, 2011. – 352 с.
12. Электрическое поле. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://electric-220.ru/news/ehlektricheskoe\\_pole\\_ehto/2013-03-01-326](https://electric-220.ru/news/ehlektricheskoe_pole_ehto/2013-03-01-326), свободный (Дата обращения 07.05.2018)
13. Напряженность электрического поля. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.calc.ru/Napryazhennost-Elektricheskogo-Polya.html>, свободный (Дата обращения 07.05.2018)

14. Потенциал электростатического поля. Энергия системы зарядов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://lib.sernam.ru/book\\_u\\_phis2.php?id=5](http://lib.sernam.ru/book_u_phis2.php?id=5), свободный (Дата обращения 08.05.2018)
15. Силовые линии электрического поля. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.electricity-automation.com/ru/electricity/6>, свободный (Дата обращения 10.05.2018)
16. Физика. Емкость. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://tepka.ru/fizika/8.18.html>, свободный (Дата обращения 11.05.2018)
17. Диэлектрическая проницаемость. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/3015703/>, свободный (Дата обращения 11.05.2018)
18. Электрическая емкость уединенного проводника. Конденсатор. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/1731156/page:11/>, свободный (Дата обращения 12.05.2018)
19. Соединение конденсаторов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sxemotehnika.ru/soedinenie-kondensatorov.html/>, свободный (Дата обращения 14.05.2018)
20. Физика в лекционных демонстрациях. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/4528/1/01497.pdf>, свободный (Дата обращения 15.05.2018)
21. Силовые линии электрического поля. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://yandex.ru/video/search?filmId=8797571237574277670&>, свободный (Дата обращения 15.05.2018)
22. Конденсаторная точечная сварка своими руками: Сборка (Часть 1). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=80RNPkTGakw>, свободный (Дата обращения 19.05.2018)
23. Применение конденсаторной сварки. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://svaring.com/welding/apparaty/kondensatornaja-svarka>, свободный (Дата обращения 20.05.2018)

*Лит*      *Лопченко А. А.*  
*19.06.18*