

Всероссийский конкурс учебно-исследовательских работ старшеклассников  
по политехническим, естественнонаучным, математическим дисциплинам для  
учащихся 9-11 классов

Физика

**Создание генератора на основе явления электромагнитной индукции**

Работу выполнил:  
Слабожанинов Михаил Владимирович,  
учащийся 10 «А» класса,  
МАОУ «Лицей №9» г.Перми

Руководитель:  
Савостина Светлана Анатольевна,  
учитель физики высшей категории

ПЕРМЬ 2016

## Содержание

1. Введение	3-4
2. Основное содержание работы	5-13
3. Заключение	14
4. Библиографический список	15

## Введение

Закон электромагнитной индукции лежит в основе современной электротехники, а также радиотехники, которая, в свою очередь, составляет ядро современной индустрии, полностью преобразившей всю нашу цивилизацию. Практическое применение электромагнитной индукции началось только спустя полвека после ее открытия. Причина, по которой электротехника играет столь важную роль во всей нашей современной жизни, состоит в том, что электричество является наиболее удобной формой энергии и именно благодаря закону электромагнитной индукции. Явление электромагнитной индукции позволяет легко получать электроэнергию, гибко распределять, транспортировать и преобразовывать ее обратно в механическую и другие виды энергии, причем все это происходит с очень высоким КПД.

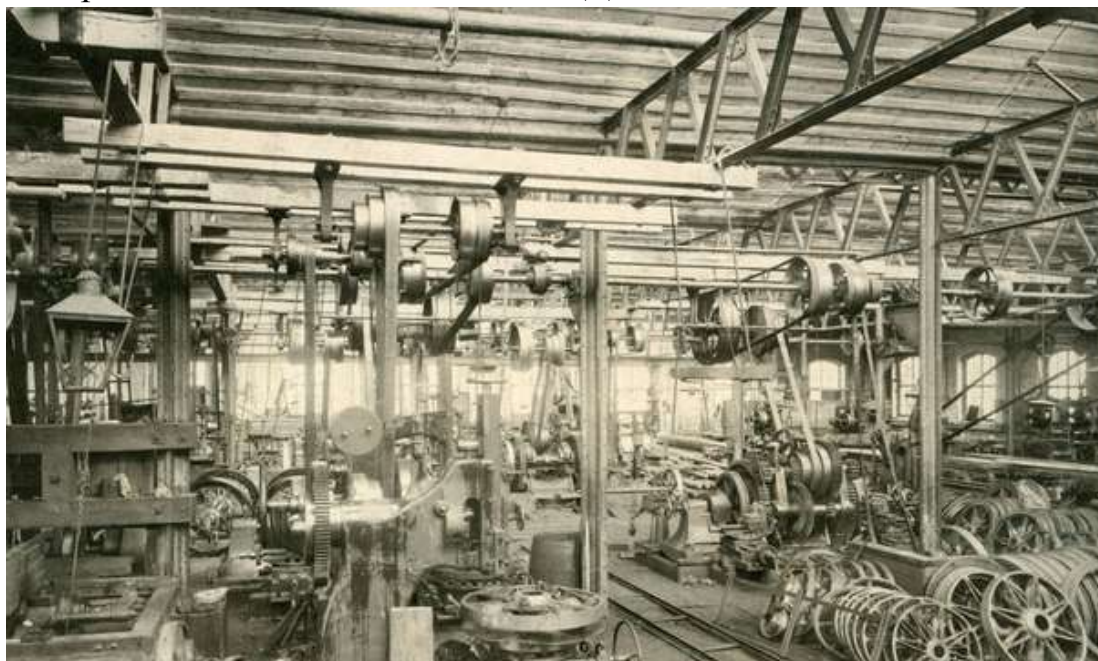


Рис. 1

Еще каких-нибудь 50 лет назад распределение энергии между станками на заводах осуществлялось через сложную систему валов и ременных передач (рис. 1) — лес трансмиссий составлял характерную деталь индустриального «интерьера» того времени. Современные станки оборудованы компактными электродвигателями, питаемыми по системе скрытой электропроводки.

Современная индустрия использует единую систему электроснабжения, охватывающую всю страну, а иногда и несколько соседних стран.

Несмотря на то, что явление магнитной индукции сегодня используется во многих сферах нашей жизни: индукционные печи, нагревательные элементы, электромоторы, трансформаторы, металлоискатели — именно движению постоянного магнита в катушке уделяется не так много внимания, что я, в своей работе, и собираюсь применить.

Тема моего проекта «Создание генератора на основе явления электромагнитной индукции» является актуальной, так как на сегодняшний день способ получения электроэнергии с наименьшими затратами и высоким КПД стоит очень остро. В моей работе механизмом, который приводит в движение

магнит, является электромотор, но его можно заменить, например, ветряной или водяной мельницей или как наиболее перспективный вариант использование механической энергии от вращения винтов вертолета.

Цель моего проекта: создание модели генератора на основе явления электромагнитной индукции.

Для достижения поставленной цели мною сформулированы следующие задачи:

1. Изучение явления электромагнитной индукции.
2. Исследование зависимости индукционного тока от различных параметров (геометрические размеры катушки, отрывная сила магнита, амплитуда и частота движения магнита)
3. Моделирование генератора

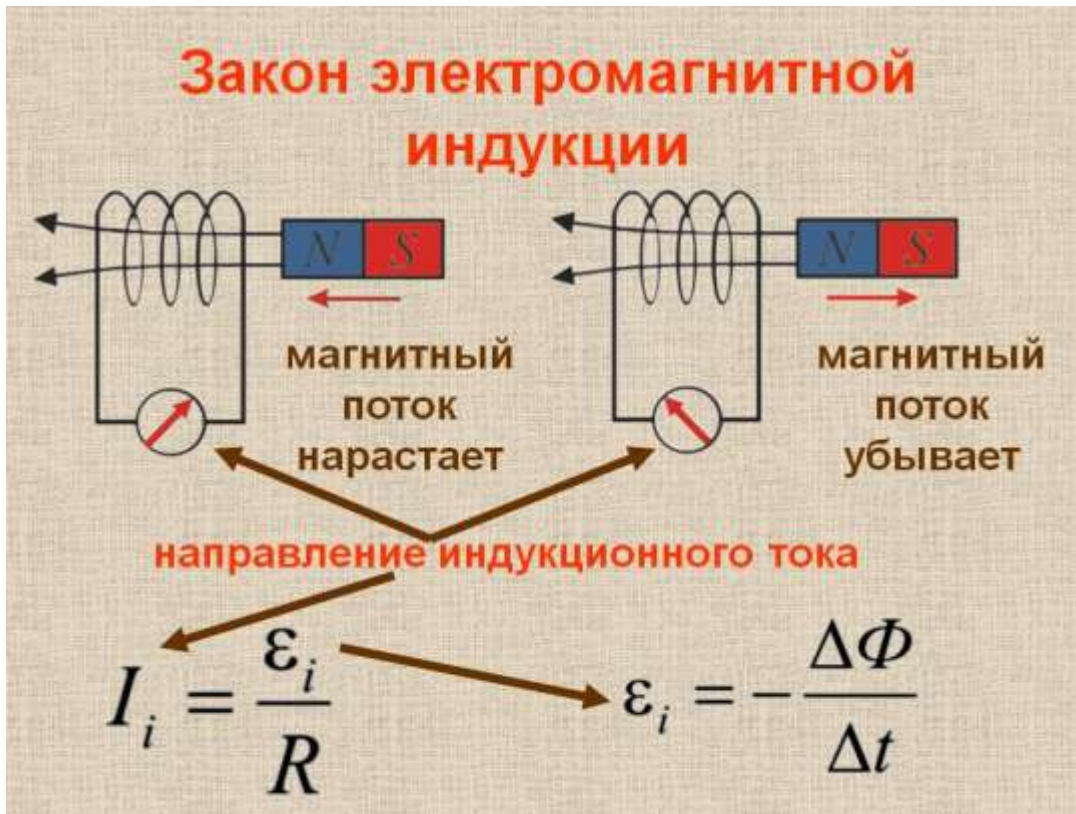
Основным направлением проекта является изучение явления появления электродвижущей силы в катушке (соленоиде), образованной медной проволокой, при движении в нем постоянного магнита, нахождения закономерностей при изменении характеристики катушки и магнита. В дальнейшем использовать данный механизм, как еще один способ преобразования механической энергии в электроэнергию.

Так как модель генератора сделана из подручных материалов, геометрические размеры катушки не велики и магнит обладает небольшой отрывной силой, я предположил, что возникнет переменный индукционный ток, который будет зависеть от следующих параметров: геометрические размеры катушки, отрывная сила магнита, мощность мотора, который приводит в движение магнит, скорость движения магнита, амплитуда движения магнита.

В процессе изучения явления электромагнитной индукции и создания генератора мною были использованы как практические, так и теоретические методы научного исследования.

## Явление электромагнитной индукции

В 1831 году Майкл Фарадей обнаружил, что при изменении магнитного поля в катушке из проводника возникает электрический ток. Это явление назвали электромагнитной индукцией (рис. 2). Электрический ток, возникающий в результате электромагнитной индукции, назвали индукционным током.



(рис. 2)

Известие об открытии электромагнитной индукции облетело все академии мира. Ученые на разные лады и каждый по-своему повторяли опыты Фарадея. Некоторые замечали новые особенности этого явления, ставившие их в тупик. Возражения против выводов Фарадея сыпались, как желуди с дуба в ветреный день. У индуктивного тока обнаруживали какие-то особые свойства, отличающие его будто бы от тюка, поставляемого обычной гальванической батареей. Было объявлено о существовании нового, «индуктивного» электричества [1].

Нашлись также «ученые», которые стали доказывать, что электромагнитная индукция позволяет осуществить вечное движение, и в подтверждение ссылались на опыты Фарадея с катушкой и магнитом, когда движение магнита внутри катушки вызывало в проволоочной обмотке индуктированный ток.

Фарадей объяснял смысл своего опыта так: силовые линии магнитного поля, окружающего железный стержень, пересекают витки проволоочной катушки и тем самым вызывают в ней ток.

Такое объяснение правильно, но оно не исчерпывает сути явления. Превратно толкуя результаты опыта, некоторые физики вообразили, что ток в данном случае рождается магнитом. А так как магнит, сколько его ни двигай взад и вперед, не портится, не ослабевает, и его «сила» никак не расходуется, то,

очевидно, катушка с магнитом внутри является настоящим вечным двигателем, способным рождать электрическую энергию из ничего.

Основной и всеобщий Ломоносовский закон: «из ничего не может возникнуть что-то» был чужд и непонятен большинству ученых того времени. Даже позже, в 1851 году, немецкого ученого Юлиа Майера, который собрал неопровержимые доказательства в пользу закона сохранения энергии, попросту объявили умалишенным и поместили в сумасшедший дом.

Ещё в 1821 г. М. Фарадей записал в своем дневнике: «Превратить магнетизм в электричество». Спустя 10 лет эта задача была им решена.

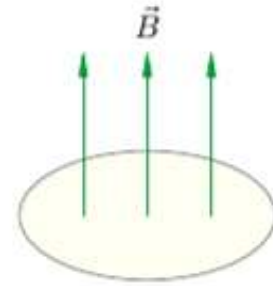
Опыты показали, что индукционный ток в катушке можно получить различными способами: можно выдвигать магнит в катушку или выдвигать его из катушки, можно надевать катушку на магнит или снимать ее с магнита.

Индукционный ток может возникать и при отсутствии какого-либо механического движения. Достаточно поместить две катушки рядом и одну из них соединить с источником тока. Если магнитное поле тока первой катушки пронизывает вторую катушку, перпендикулярно плоскостям ее витков, то при любых изменениях тока в первой катушке во второй возникает индукционный ток [1].

## Магнитный поток

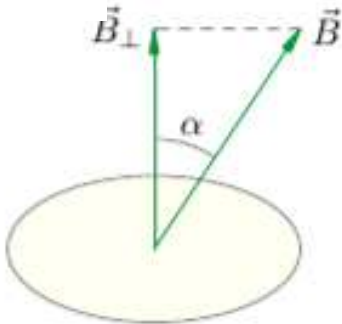
Понятие магнитного потока как раз и является характеристикой количества линий магнитного поля, пронизывающих контур. Для простоты мы ограничиваемся случаем однородного магнитного поля. Рассмотрим контур площади  $S$ , находящийся в магнитном поле с индукцией  $B$ . Пусть сначала магнитное поле перпендикулярно плоскости контура (рис. 3).

Рис 3



В этом случае магнитный поток  $\Phi$  определяется очень просто — как произведение индукции магнитного поля на площадь контура:  $\Phi = B \cdot S$

Рис 4



Теперь рассмотрим общий случай, когда вектор  $B$  образует угол  $\alpha$  с нормалью к плоскости контура (рис. 4). Мы видим, что теперь сквозь контур «протекает» лишь перпендикулярная составляющая  $B_{\perp}$  вектора магнитной индукции  $B$  (а та составляющая, которая параллельна контуру, не «течёт» сквозь него).

Это и есть общее определение магнитного потока в случае однородного магнитного поля.  $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$

Обратите внимание, что если вектор  $B$  параллелен плоскости контура (то есть  $\alpha = 90^\circ$ ), то магнитный поток становится равным нулю.

А как определить магнитный поток, если поле не является однородным? Укажем лишь идею. Поверхность контура разбивается на очень большое число очень маленьких площадок. В системе СИ она полагается равной единице. И получаем закон электромагнитной индукции или закон Фарадея. Дадим его словесную формулировку: При изменении магнитного потока, пронизывающего контур, в этом контуре возникает ЭДС индукции, равная модулю скорости изменения магнитного потока [2].

Появление индукционного тока в замкнутой электрической цепи катушки при любых изменениях магнитного поля означает, что при изменениях магнитного поля внутри катушки на электрические заряды в проводе действуют силы неэлектростатической природы, так как работа электростатических сил по любому замкнутому контуру равна нулю. Работу этих сторонних сил характеризуют электродвижущей силой индукции.

Отталкивание или притяжение магнита катушкой зависит от направления индукционного тока в ней. Поэтому закон сохранения энергии позволяет сформулировать правило, определяющее направление индукционного тока [4].

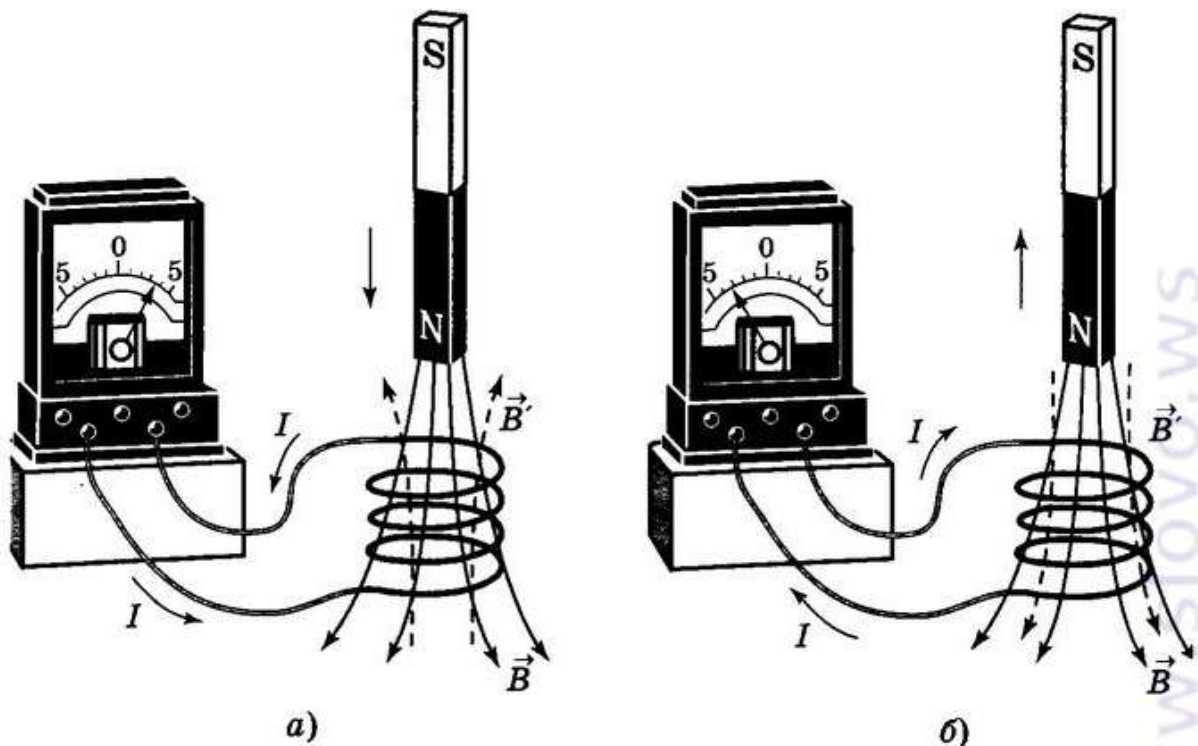


Рис. 5.5

В чем состоит различие двух опытов: приближение магнита к катушке и его удаление? В первом случае магнитный поток (или число линий магнитной индукции, пронизывающих витки катушки) увеличивается (рис. 5.а), а во втором случае — уменьшается (рис. 5.5, б). Причем в первом случае линии индукции  $\vec{B}'$  магнитного поля, созданного возникшим в катушке индукционным током, выходят из верхнего конца катушки, так как катушка отталкивает магнит, а во втором случае, наоборот, входят в этот конец. Эти линии магнитной индукции (рис. 5) изображены штрихом.

Теперь мы подошли к главному: при увеличении магнитного потока через витки катушки индукционный ток имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует нарастанию магнитного потока через витки катушки. Ведь вектор индукции  $\vec{B}'$  этого поля направлен против вектора индукции  $\vec{B}$  поля, изменение которого порождает электрический ток. Если же магнитный поток через катушку ослабевает, то индукционный ток создает магнитное поле с индукцией  $\vec{B}'$ , увеличивающее магнитный поток через витки катушки.



## Закон электромагнитной индукции

Закон электромагнитной индукции формулируется именно для ЭДС, а не для силы тока. При такой формулировке закон выражает сущность явления, не зависящую от свойств проводников, в которых возникает индукционный ток. Согласно закону электромагнитной индукции ЭДС индукции в замкнутом контуре равна по модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.

$$|\mathcal{E}_i| = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

Индукцированные токи всегда направлены таким образом, чтобы препятствовать причине вызвавшей индукцию. Ленц установил, что приближение намагниченного стержня к замкнутой катушке вызывает в ней индуктивные токи такого направления, что их магнитное поле противодействует, сопротивляется движению стержня. Магнитное поле катушки выталкивает назад магнитный стержень, и для того, чтобы вдвинуть его в катушку, необходимо преодолеть это сопротивление, то есть совершить определенную работу против сил магнитного поля индуктивного тока [3].

Опыт показывает, что направление индукционного тока всегда определяется общим правилом, называемым правилом Ленца: индукционный ток имеет такое направление, что созданное им магнитное поле оказывает компенсирующее действие магнитного поля, вызывающее данный индукционный ток, препятствует проходящим изменениям магнитного поля.

Так же опытным путем было доказано, что индуктивный ток, возникая в катушке, не рождается из ничего. Для его образования приходится затрачивать энергию, то есть работать. Значит, энергия не рождается, а лишь преобразуется: механическая энергия превращается в электрическую.

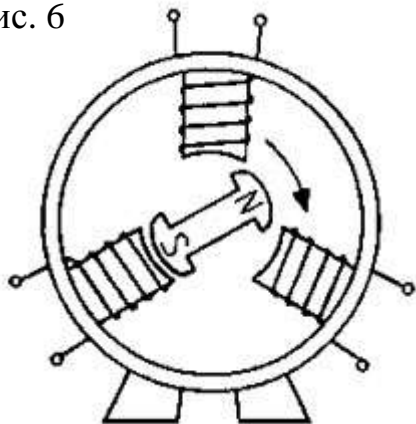
Закон электромагнитной индукции лежит в основе современной электротехники, а также радиотехники, которая, в свою очередь, составляет ядро современной индустрии. Практическое применение электромагнитной индукции началось только спустя полвека после ее открытия [5].

## Создание модели генератора

Система электроснабжения начинается с генератора электроэнергии. Работа генератора основана на непосредственном использовании закона электромагнитной индукции. Схематически простейший генератор представляет собой неподвижный электромагнит (статор), в поле которого вращается катушка (ротор). Возбуждаемый в обмотке ротора переменный ток снимается с помощью специальных подвижных контактов — щеток. Так как через подвижные контакты трудно пропустить большую мощность, часто применяется обратная схема генератора: вращающийся электромагнит возбуждает ток в неподвижных обмотках статора. Таким образом, генератор преобразует в электричество механическую энергию вращения ротора. Последний приводится в движение с помощью либо тепловой энергии (паровая или газовая турбина), либо механической (гидротурбина).

Чаще всего сегодня используют электрогенераторы (рис. 6) где э. д. с. индукции возникает при вращении якоря в поле индуктора, т. е. якорь был ротором, а индуктор — статором. Но, конечно, можно, наоборот, вращать индуктор, а якорь оставлять неподвижным.

Рис. 6



Таким образом, как ротор, так и статор могут играть роль индуктора или роль якоря. И в том и в другом случае ротор должен быть снабжен контактными кольцами и щетками, осуществляющими непрерывный контакт во время его вращения. Ясно, однако, что удобнее проводить через такие скользящие контакты сравнительно небольшой ток, необходимый для намагничивания индуктора. Ток же, генерируемый в якоре большого генератора,

достигает огромной силы, и этот ток удобнее снимать с неподвижных катушек, не требующих скользящих контактов. Поэтому в мощных генераторах предпочитают в качестве якоря использовать статор, а в качестве индуктора — ротор.

Главными частями моей модели генератор являются: медная катушка (соленоид) и электромотор. Каркас катушки состоит из двух досок (толщиной 10 мм), предназначенных для крепления соленоида. Проволока наматывается на пластиковую трубку, внутри которой двигается магнит, сама же трубка сделана из, наиболее ровной, центральной части пластмассовой бутылки. Материал легко гнется и не обладает большим коэффициентом трения, благодаря чему обеспечивается минимальная потеря энергии.

Магнит внутри катушки двигается за счет движение механизма, по принципу работы схожего с шатуном в двигателе внутреннего сгорания. Состоит из двух болтов скрепленных винтами через отверстия. Крепится к деревянному диску. Гайки держатся на клее.

Сам же мотор взят из вентилятора мощностью 16 Вт, отрывная сила магнита - 6.5 кг.

Вся конструкция предназначена для демонстрации получения переменного тока с помощью движения постоянного магнита внутри соленоида.

При создании модели генератора, я опирался на опыт: *получение индукционного тока при движении постоянного магнита относительно контура* [6].

Катушку от универсального трансформатора, рассчитанную на 220 В, присоединяют к демонстративному гальванометру. Вводя в катушку постоянный магнит, наблюдают отклонение стрелки гальванометра при движении магнита, обращают внимание, что при неподвижном относительно катушки магните, магнитная стрелка гальванометра остается в покое.

Видоизменяют опыт, оставляя магнит неподвижным, перемещают катушку и вновь наблюдают отклонение стрелки гальванометра. В заключении опыта катушку вращают вокруг магнита, обращают внимание на то, что стрелка гальванометра не отклоняется.

Проделанные опыты показывают, что в катушке возникло электрическое поле. Это поле называется индуцированным, а само наблюдаемое явление – электромагнитной индукцией. Так как в опыте изменялось только магнитное поле, то можно сказать, что причиной возникновения индуцированного электрического поля является переменное во времени магнитное поле.



Получив модель генератора переменного тока, я задался вопросом, от чего зависит индукционный ток, возникающий при изменении магнитного поля в соленоиде.

При исследовании зависимости индукционного тока:

1. Менял число витков. Обнаружил, что индукционный ток зависит от числа витков, чем больше число витков, тем индукционный ток больше.
2. Менял амплитуду движения стержня с магнитом внутри соленоида. Выяснил, что чем больше амплитуда движения магнита, тем полученный индукционный ток по модулю был больше.
3. Менял магнит. Магнит, обладающий большей отрывной силой, создавал индукционный ток по модулю больше, в отличие от магнита, обладающего меньшей отрывной силой.
4. Менял частоту движения магнита. Во время опыта я сравнил ток, полученный при движении магнита вручную и при помощи мотора (обладающего большей частотой вращения). В результате ток, полученный путем быстрого изменения магнитного поля, оказался больше, чем ток, полученный вручную (с небольшой частотой).

## Применение генератора

Данная модель генератора может применяться на уроках физики как демонстрационное пособие при изучении темы «Явление электромагнитной индукции».

Генератор, созданный по принципу данной модели в промышленных масштабах, может являться новым источником электрической энергии.

Одним из новых направлений применения генератора может являться «Летающая электростанция» – устройство, смонтированное на конструкции вертолета, использует вращательный момент лопастей, для выработки электроэнергии, необходимой для снабжения полярных станций, а именно расположенных на плавучих ледниках. Установка тяжелого и дорогостоящего оборудования на леднике, который может в любой момент потерять свою прочность, является не рациональным. Летающая электростанция может решить подобную проблему.



## **Заключение**

Используя теоретические и практические методы познания, мною была изготовлена модель генератора, основанного на явлении электромагнитной индукции. По итогам исследования были определены наиболее подходящие геометрические размеры катушки, отрывная сила магнита, мощность мотора, который приводит в движение магнит, скорость движения магнита, амплитуда движения магнита. При работе данной модели появляется переменный индукционный ток, сила тока которого  $I = 2 \text{ мА}$ .

Модель была продемонстрирована на выставке «Техно-Пермь 2015», где получила положительный отзыв от одного из сотрудников «Конструкторского бюро». На научно-практической конференции Мотовилихинского района в секции «Естествознания» данная работа стала победителем.

### **Библиографический список**

1. Ивановский М. Покоренный электрон. Москва: Издательство «Молодая гвардия», 1952
2. И.В.Яковлев Материалы по физике
3. Кабрдин О. Ф. Физика: справочник для дошкольников и поступающих в вузы
4. Физика. Электродинамика, 10-11 классы (Мякишев Г.Я., Синяков А.З., Слободсков Б.А.) 2005
5. Мешков И. Н., Чириков Б. В. Электромагнитное поле. Часть 1. Электричество и магнетизм.— Новосибирск: Наука, 1987.
6. Демонстрационные опыты по электродинамике. Издательство: Просвещение 1973