

Всероссийский конкурс научно-технологических проектов
«БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРАКТИЧЕСКОГО
ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В
ПРИЛИВНЫХ ТЕЧЕНИЯХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

Автор: Телегин Глеб Сергеевич, 10 класс
МБУДО «Дом детского творчества «Дриада»
Научный руководитель: Михедько Оксана
Григорьевна, педагог дополнительного образования
МБУДО «Дом детского творчества «Дриада»,
учитель физики МАОУ «СОШ №266»

Снежногорск

2020

Введение

В XXI веке актуальным направлением энергетики является использование экологически чистой и возобновляемой энергии морских приливов. Приливные электростанции (ПЭС), в отличие от тепловых, атомных и гидроэлектростанций, не имеют таких негативных последствий своей работы, как вредные выбросы в атмосферу, подтапливание земель, кроме того, они потенциально не опасны для человека.

Однако морская вода обладает еще одним уникальным свойством – она является природным электролитом и содержит огромное количество различных положительных и отрицательных ионов. Если заставить двигаться положительные и отрицательные ионы в нужном направлении, то можно получить дополнительный неисчерпаемый природный источник электрического тока.

В основу исследования положен магнитогидродинамический эффект (МГД-эффект) - возникновение электрического тока при движении электропроводящей жидкости или ионизированного газа в магнитном поле.

В процессе работы над темой мы предположили, что особенности нашего региона, в частности наличие единственной в России приливной электростанции на побережье Баренцева моря, больших объемов движущейся морской воды, позволяют заняться проблемой создания новых комбинированных источников электроэнергии на основе магнитогидродинамического эффекта и приливных сил. В этом мы видим *актуальность* нашего исследования.

Цель работы: исследование условий целесообразности применения МГД-эффекта на приливных электростанциях. **Объект исследования** – МГД-эффект в электролитах, **предмет исследования** – влияние МГД-эффекта на выходные параметры ПЭС.

Для реализации поставленной цели нам необходимо было решить ряд задач:

1. Изучить теоретический материал по теме исследования;

2. Провести эксперименты по исследованию влияния физических характеристик электролита и внешнего магнитного поля на величину ЭДС источника;
3. Оценить целесообразность сочетания энергии приливной волны с МГД-эффектом на турбинах приливных электростанций;
4. Обобщить результаты исследования и сделать выводы.

При выполнении исследования нами использовались следующие методы: наблюдение, анализ, эксперимент, моделирование.

Глава 1. Теоретические вопросы исследования

1.1. Приливные электростанции

Для практического использования энергии приливной воды скорость потока не должна быть меньше 1,2 м/с. В открытом океане поток слишком медленный, он имеет скорость менее 0,1 м/с. Поэтому наиболее пригодными для размещения ПЭС являются устья рек, впадающих в моря и океаны, узкие и мелкие заливы с извилистой береговой линией. В них возникают самые сильные и высокие приливные волны.

В приливных электростанциях используется перепад уровней воды, образующийся во время прилива и отлива. Для этого отделяют прибрежный бассейн невысокой плотиной, которая задерживает приливную воду при отливе. Затем воду выпускают, и она вращает гидротурбины.

На территории Российской Федерации единственной действующей является приливная электростанция, расположенная в губе Кислая Мотовского залива Баренцева моря. Прилив на входе в губу Кислую имеет правильный полусуточный характер; его максимальная сизигийная величина – 3,96 м; средняя величина – 2,27 м; минимальная квадратурная величина – 1,07 м. Площадь зеркала губы (в настоящее время – это бассейн ПЭС) изменяется от 0,97 до 1,5 км², максимальная глубина губы – 35 м. Суммарная мощность Кислогубской ПЭС в настоящее время составляет 1,7 МВт.

1.2. Магнитогидродинамический эффект

Магнитогидродинамический эффект - возникновение электрического поля и электрического тока при движении электропроводной жидкости или ионизированного газа в магнитном поле. Генератор состоит из канала (рис.1), по которому движется рабочее вещество, системы магнитов и электродов, отводящих электроэнергию. В качестве рабочего вещества служит ионизированный газ высокой температуры (плазма), образующийся при сгорании природного газа, либо жидкого углеводородного топлива.

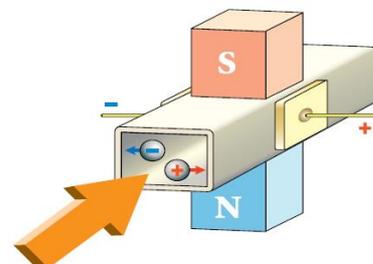


Рис.1. Модель МГД-генератора

Если этот поток попадёт в область магнитного поля перпендикулярно силовым линиям, то на каждую заряженную частицу будет действовать сила Лоренца, отклоняющая заряженные частицы в разные стороны. Если в нужных местах разместить два электрода, то на них будут скапливаться разноимённые заряды и возникнет ЭДС, а в проводнике, соединяющем электроды, пойдёт электрический ток.

МГД-генераторы отличаются конструктивными особенностями электродов и делятся на три основных типа: а) линейный фарадеевский генератор с секционированными электродами; б) линейный холловский генератор; в) генератор с диагональным соединением электродов.

По способу отвода электроэнергии МГД-генераторы разделяют на кондукционные и индукционные.

Глава 2. Анализ возможности применения МГД-эффекта на приливных электростанциях

2.1. Описание идеи исследования

Освоение зоны Арктики в последние годы, интенсивное развитие судоходства на трассах Северного морского пути открывают новые возможности для решения задач электроснабжения Арктических регионов,

способствующие продвижению глобальных проектов по освоению новых территорий.

Суть проекта состоит в возможности получения электрической энергии комбинированным способом – за счет преобразования кинетической энергии приливной волны и кинетической энергии зарядов, содержащихся в морской воде, движущихся в магнитном поле, в электрическую энергию.

В Мурманском государственном техническом университете разработана идея использования наплавных мобильных приливных электростанций на базе наливных несамоходных судов (НГЭС), конструктивно переоборудованных в специализированный гидроэнергетический блок. Такая мобильная электростанция снабжается современной ортогональной турбиной.

В основе конструкции и принципа действия использован принцип сообщающихся сосудов. Тело танкера переоборудуется таким образом, чтобы создать внутри него водоток забортной приливной воды в танки, используемые в качестве бассейна. При достаточно высокой амплитуде прилива (более 4 м) можно создать напор воды, заполняющей танки, достаточный для вращения гидротурбины, которая размещается в теле танкера на пути водотока и соединяется с гидрогенератором.

Существуют и определенные разработки в области МГД-энергетики, предлагающие использовать естественные потоки морской воды для получения электрической энергии в МГД-генераторах.

Мы же предлагаем комбинировать мобильные ПЭС с магнитогидродинамическими каналами, способными вырабатывать дополнительную электрическую энергию за счет движущегося в магнитном поле электролита – морской воды.

2.2. Исследование параметров электролита, влияющих на значение ЭДС

На первом этапе исследования в качестве рабочего вещества мы использовали раствор поваренной соли различной концентрации (5%, 10%, 15%, 20%, 30%) и воду Черного и Баренцева морей.

Приведем основные выводы по проведенным экспериментам для морской воды:

1. Увеличение концентрации электролита не приводит к увеличению разности потенциалов между электродами. При высокой концентрации ионы разных знаков взаимодействуют между собой, а значит, снижается их подвижность и скорость движения.

2. При увеличении температуры электролита разность потенциалов увеличивается, но при температуре порядка 55-60°C жидкость равномерно прогревается и скорость теплового движения снижается, разность потенциалов начинает уменьшаться. Наибольшее значение напряжения мы получили при нагревании воды Черного моря, соленость которого почти в 2 раза ниже воды Баренцева моря (рис.2).

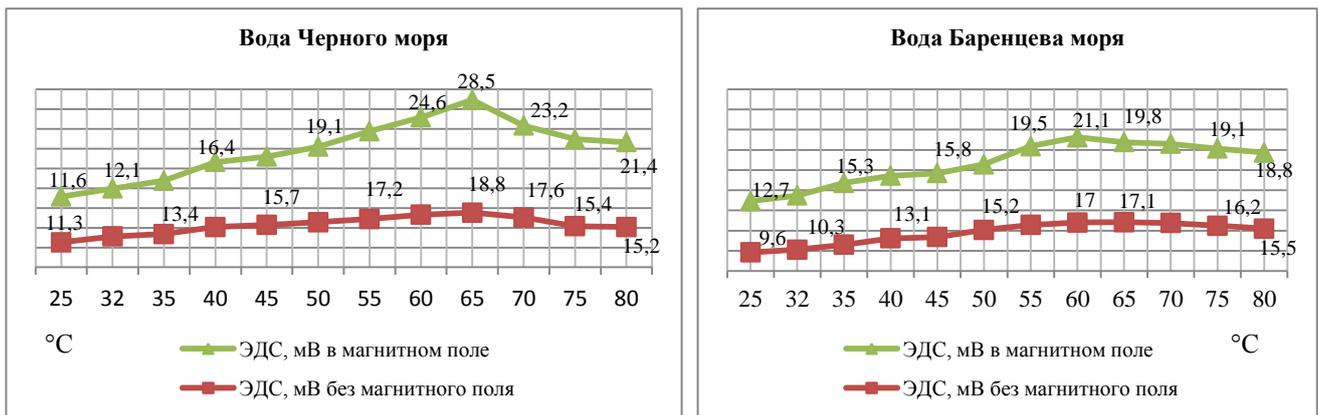


Рис.2. Значения ЭДС в магнитном поле и при его отсутствии

3. Разность потенциалов увеличивается при увеличении расстояния между электродами, т.е. чем шире будет канал в МГД-генераторе, тем большее значение выходного напряжения мы можем получить (рис.3).

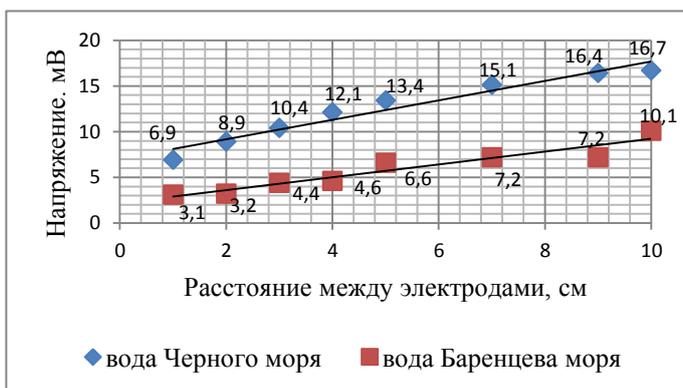


Рис.3. Графики зависимости разности потенциалов при различных значениях расстояния между электродами

2.3. Математический расчет и испытание модели МГД-генератора

Рассчитаем напряжение U между электродами МГД-генератора.

Работа сторонних сил (магнитных) равна $A = qU$, откуда $U = \frac{A}{q}$ (2.3.1), где

q – заряд иона. С другой стороны работа $A = F_{\text{л}} \cdot d$ (2.3.2), где d – расстояние между электродами, а сила Лоренца, действующая на ионы, равна $F_{\text{л}} = qVB$

(2.3.3). С учетом формул (2.3.1)-(2.3.3) получаем: $U = \frac{qVBd}{q} = VBd$ (2.3.4).

Скорость движения ионов равна скорости потока электролита в трубе. Рассчитаем значение скорости по следующей формуле:

$V = \frac{4Q}{S}$ (2.3.5). Q – расход воды в $\text{м}^3/\text{с}$, S – площадь сечения внутреннего канала, м^2 . Расход воды вычислим по времени движения воды в камере.

При создании модели МГД-генератора в качестве рабочего вещества выбрали морскую воду. Рабочий канал модели склеили из четырёх пластин оргстекла размером 11×2 см, электроды изготовили из листовой меди. Вдоль рабочего канала размещены плоские ферритовые магниты, размещенные разноименными полюсами внутрь камеры (рис.4). Основные расчетные характеристики модели представлены в Таблице 1.



Расстояние между электродами, d , м	Расход электролита, Q , $\text{м}^3/\text{с}$	Скорость движения электролита, V , м/с	Магнитная индукция, B , Тл	Расчетное значение разности потенциалов U , мВ	Экспериментальное значение разности потенциалов U , мВ
0,02	0,0013	13,0	0,3800	98,8	101,7

Магниты, используемые при создании модели, изготовлены из феррита бария (марка УЗОН-1). Значение магнитной индукции, по данным производителя, для таких магнитов составляет $0,38-0,40$ Тл.

Скорость движения электролита в канале равна: $V = \frac{4 \cdot 0,0013}{0,02 \cdot 0,02} = 13 \text{ м/с}$.

По формуле (4) разность потенциалов между электродами:

$$U = 13 \cdot 0,38 \cdot 0,02 = 0,0988 \text{ В} = 98,8 \text{ мВ}$$

При испытании модели разность потенциалов имела значение от 50 до 102мВ.

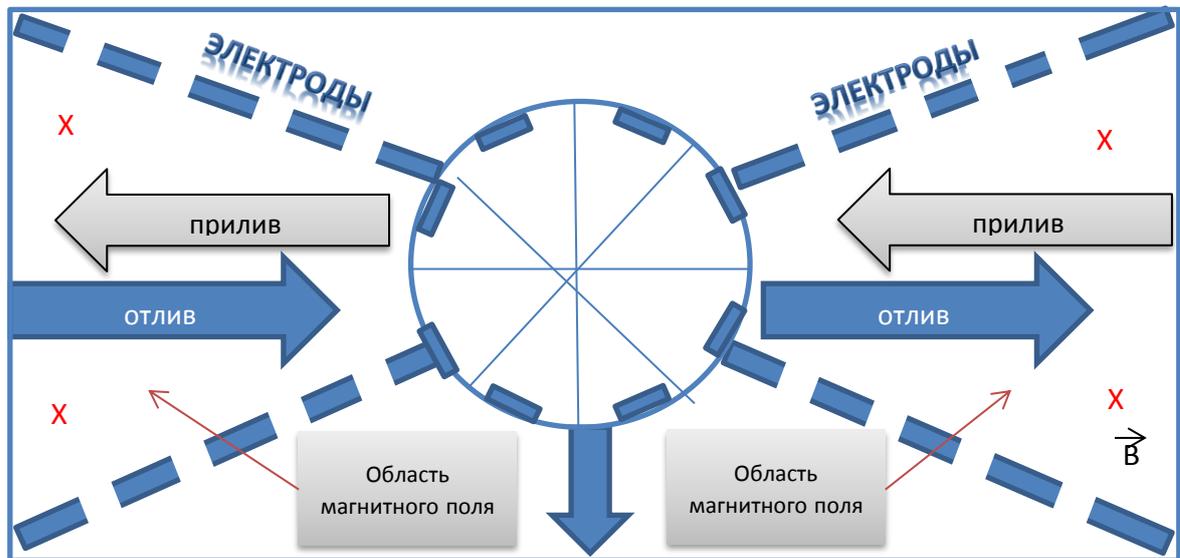
Ссылка на видео работы модели МГД-генератора:

<https://drive.google.com/file/d/1cfA1Du4dt4E6zS5rq0Id88znskWi6xb/view?usp=sharing>

2.4. Исследование целесообразности использования МГД-эффекта в системе турбин ПЭС

Для простоты вычислений рассмотрим один наплавной блок приливной электростанции с ортогональной турбиной диаметром 5м на примере блока Кислогубской ПЭС. В перспективе планируется выполнить расчеты для мини-ПЭС контейнерного типа.

Общая схема движения водного потока внутри блока представлена на рис.5. Основные характеристики ортогональной турбины представлены в Таблице 3.



Ортогональная гидротурбина

Таблица 3. Основные характеристики ортогональной турбины

Параметры	Значения
Диаметр рабочего колеса турбины, м	5,0
Длина лопасти одной турбины, м	4,0
Номинальная частота вращения, об/мин	36,9
Расчетный напор турбины, м	2,48

Расчетный расход, м ³ /с	61,4
Номинальная мощность, кВт	990
Максимальный КПД турбины	0,714

Размер наплавного блока равен 36x15,35x18,3м. Размер канала перед турбиной, во избежание гидроудара, должен быть не менее 0,8 от диаметра турбины, т.е. ширина канала равна 4м.

Выберем для модели кондукционный канал фардеевского типа со сплошными электродами. Особенностью канала является то, что ЭДС генерируется относительно низкая (до нескольких кВ), при этом величина тока может достигать сотен кило Ампер, т.е. канал является «сильноточным».

Рассчитаем скорость потока открытой воды в период прилива при его среднем значении в губе Кислая 2,27м. Потенциальная энергия прилива (высота его центра тяжести составит 1,135м) перейдет в кинетическую энергию волны, т.е.

$mgh = \frac{m v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$ (2.4.1), скорость течения воды при приливе $v = \sqrt{2 \cdot 9,8255 \cdot 1,135} = 4,72 \text{ м/с}$, где $g=9,8255 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения на широте Мурманска.

Скорость вращения турбины $v = 2\pi\nu R$ (2.4.2),

где $\nu = 36,9 \frac{\text{об}}{\text{мин}} = 0,615 \text{ Гц}$, $R = 2,5 \text{ м}$ – радиус колеса турбины.

$v = 9,66 \text{ м/с}$. Таким образом, для оптимальной работы турбины, скорость потока морской воды перед турбиной должна увеличиться в 2 раза.

Для увеличения скорости воды перед турбиной канал необходимо сделать меньше, чем диаметр входного канала. Вследствие малой сжимаемости жидкости через сечение трубы в единицу времени проходит одинаковый объем воды: $S_1 v_1 = S_2 v_2 = S_3 v_3$ (2.4.3)

Пусть канал перед турбиной имеет квадратное сечение размером $d=h=4 \text{ м}$ и длиной $L=15$ метров. Величину индукции магнитного поля примем 5Тл. Выходную мощность нагрузки установим $P_n = 200 \text{ кВт}$.

Тогда размеры сечения на входе потока в наплавной блок должны быть рассчитаны из соотношения: $S_1 v_1 = S_2 v_2$ или $S_1 \cdot 4,72 = 4^2 \cdot 9,66$. Следовательно, ширина входного канала при квадратном сечении будет равна 6 метров.

Таким образом, регулируя сечение канала турбины, можно управлять скоростью течения морской воды внутри ПЭС. Такая проблема может возникнуть, если мобильный блок ПЭС используется в районах с малой скоростью приливного течения.

Скорость движения в канале будет влиять и на величину возникающей ЭДС, а также на значение КПД и мощности на нагрузке.

Из формулы (2.3.4) между электродами возникает ЭДС: $\varepsilon = Ed = VBd$

Итак, на электродных стенках канала при движении электролита в магнитном поле возникает ЭДС $\varepsilon = vBd = 9,66 \cdot 5 \cdot 4 = 193,2$ В.

Для увеличения ЭДС можно увеличивать скорость потока, но большие скорости течения могут повлиять на скорость вращения турбины и снизить КПД.

Ток нагрузки из закона Ома для полной цепи: $I = \frac{\varepsilon}{R + R_H}$ (2.4.4), где R – сопротивление канала, R_H – сопротивление нагрузки.

Мощность канала $P_K = \frac{\varepsilon^2}{R + R_H}$ (2.4.5), мощность в нагрузке $P_H =$

$\frac{\varepsilon^2 R_H}{(R + R_H)^2}$ (2.4.6), мощность потерь $P_{\Pi} = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + R_H)^2}$ (2.4.7). Так как $P_H = 200$ кВт и

$\varepsilon = 193,2$ В, то, подставив эти значения в формулу (7), получим: $5,36 (R + R_H)^2 = R_H$ (2.4.8)

Чтобы канал работал эффективно и значение КПД было достаточным, необходимо, чтобы мощность потерь не превышала 10% от мощности в нагрузке, т.е. $P_{\Pi} \leq 0,1 P_K$ или

$$\frac{\varepsilon^2 R}{(R + R_H)^2} \leq 0,1 \frac{\varepsilon^2}{R + R_H} \Rightarrow R \leq 0,11 R_H \quad (2.4.9)$$

Решив систему уравнений (9) и (10), получим, что значение сопротивления канала должно быть $R \approx 0,0166$ Ом $\approx 0,02$ Ом.

Сопротивления канала вычислим по формуле $R = \frac{\rho L}{S} = \frac{\rho L}{dh}$ (2.4.10), где $\rho \approx 0,3$ Ом·м удельное сопротивление морской воды. $R=0,28$ Ом, что в 14 раз превышает оптимальную величину. Для снижения сопротивления потока необходимо увеличивать концентрацию заряженных частиц, но это условие ограничено природными свойствами морской воды.

Рассчитаем максимальную мощность, отдаваемую МГД-генератором во внешнюю цепь. В этом случае необходимо принять условие, что $R_H = R = 0,28$ Ом. Данное утверждение доказывается при решении ряда задач, и может быть разобрано подробнее при необходимости.

$$P_{max} = \frac{\varepsilon^2 R_H}{(R+R_H)^2} = \frac{\varepsilon^2 R}{(R+R)^2} = \frac{\varepsilon^2}{4R} \quad (2.4.14), \quad P_{max} = 33327 \text{ Вт} \approx 33 \text{ кВт}$$

При эффективной работе канала сопротивление нагрузки должно быть $R_H = 0,28 : 0,11 \approx 2,55$ Ом. Тогда мощность канала будет равна $P_K = \frac{\varepsilon^2}{R+R_H} = \frac{193,2^2}{0,28+2,55} = 13189 \text{ Вт} \approx 13,2 \text{ кВт}$

Мощность, выделяемая на нагрузке (полезная), будет равна $P_H = \frac{\varepsilon^2 R_H}{(R+R_H)^2} = \frac{193,2^2 \cdot 2,55}{(0,28+2,55)^2} = 11884 \text{ Вт} \approx 11,9 \text{ кВт}$. КПД канала будет равен $\eta = \frac{11,9}{13,2} \approx 0,90 = 90\%$

Реально значение КПД будет гораздо ниже, т.к. реальное значение сопротивления нагрузки будет значительно больше, кроме того, следует учесть тепловые потери и потери магнитного поля.

Таким образом, изменяя сопротивление канала (его сечение, длину), скорость потока, величину индукции магнитного поля, мы можем изменять мощность, отдаваемую МГД-каналом во внешнюю цепь.

Так как генерироваться будет постоянный электрический ток, скорее всего экономически выгодно будет аккумулировать полученную таким образом энергию.

Для более детального исследования проблемы планируется создание модели наплавного блока ПЭС с МГД-каналом.

Заключение

В работе рассмотрена возможность получения электрической энергии комбинированным способом – за счет преобразования кинетической энергии приливной волны и кинетической энергии зарядов, содержащихся в морской воде, движущихся в магнитном поле, в электрическую энергию.

Проведен расчет модели и ее практические испытания с водой Черного и Баренцева морей. Максимально значение разности потенциалов зафиксировано 102мВ.

Сделана попытка оценить целесообразность применения МГД-эффекта на приливных электростанциях на примере Кислогубской ПЭС.

Мы установили, что регулируя сечение канала турбины, можно управлять скоростью течения морской воды внутри ПЭС. Такая проблема может возникнуть, если мобильный блок ПЭС используется в районах с малой скоростью приливного течения.

Для увеличения ЭДС можно увеличивать скорость потока, но большая скорость водного потока может привести к проскальзыванию турбины и снижению ее КПД.

Для снижения сопротивления потока необходимо увеличивать концентрацию заряженных частиц, но это условие ограничено природными свойствами морской воды.

Расчётное значение ЭДС для МГД-канала Кислогубской ПЭС составляет 193, 2В. Максимальная мощность 33кВт.

При эффективной работе канала (мощность потерь не превышает 10% от общей мощности) его мощность будет равна 13,2кВт. Мощность на нагрузке составит 11,9кВт. КПД канала будет равен 90%.

Таким образом, изменяя сопротивление канала (его сечение, длину), скорость потока, величину индукции магнитного поля, мы можем изменять мощность, отдаваемую МГД-каналом во внешнюю цепь.

Так как генерироваться будет постоянный электрический ток, скорее всего экономически выгодно будет аккумулировать полученную таким образом энергию.

Предполагаем, что комбинированные мобильные ПЭС с магнитогидродинамическими каналами можно использовать для получения электрической энергии в удаленных районах Арктики, на нефтяных или буровых платформах.

Список литературы

1. Ашкинази Л. МГД–генератор //Квант.-1980.- № 11.- с. 2–8
2. Бернштейн Л.Б. Приливные электростанции. –М., Энергоатомиздат, 1987. – С. 38-39.
3. Борисова Л.Ф., Коробко А.Н. Несамходное гидроэнергетическое судно для обеспечения электрической энергией труднодоступных районов Арктики и Дальнего Востока.- Мурманск, Вестник МГТУ, том 18, № 4, 2015 г. стр. 595–600
4. Жимерин Д. Большой эксперимент // Наука и жизнь. -1970. - № 12
5. Магомедов А. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Махачкала: ИПО «Юпитер», г. Махачкала, 1996. - 245 с.
6. Мамаев О. Как из движения сделать электричество: МГД-генераторы // Наука и жизнь. -2015. - № 8. -с. 72-80.
7. Панченко В. П. Введение в магнитогидродинамическое (МГД) преобразование энергии (электронное учебное пособие). – Москва, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».- 2011г.
8. Сахаров А.Н., Краснов В.Л. Задача о магнитогидродинамическом генераторе на физической олимпиаде// Альманах современной науки и образования.-Тамбов: Грамота, 2015. № 12 (102). с. 136-139.