

**XXVI научно-практическая конференция школьников города
Пензы «Я исследую мир»**

Проект

на тему:

«Вечный двигатель. Возможно ли создать?»

Выполнил:

обучающийся МБОУ «Лицей №55» г. Пензы

Тахмазян Тигран Андреевич, 10 «Б» класс

Руководитель:

Золкина Юлия Михайловна,

учитель физики

Пенза 2021

Содержание

Глава 1. Теоретическая часть

1.1. Введение.....	3
Гипотеза. Актуальность. Цель и задачи.....	3
1.2 Исследование.....	4
1.3 Принцип действия тепловых двигателей.....	4
1.4. Классификация вечных двигателей.	
Вечный двигатель первого рода	
.....	5
Устройство и принцип работы магнитного двигателя	
.....	7
Вечный двигатель второго рода	10
Вечный двигатель третьего рода.....	11

Глава 2. Практическая часть

2.1. Этапы изготовления модели.....	12
2.2. Материальные затраты.....	12
2.3. Вывод.....	13
Источники и литература.....	14
Приложения.....	15

Глава 1. Теоретическая часть

1.1. Введение

Первое упоминание о вечном двигателе относится к 1150 году. Но означает ли это, что античные механики не интересовались вечным движением? Напротив, это было одной из тех традиционных проблем, которым в связи с исследованием физических явлений наука уделяла много внимания. Но при исследовании условий, определяющих круговое движение тел, греки пришли к выводу, который теоретически исключает любую возможность существования на Земле искусственно созданного вечного движения. Человеческая натура такова, что испокон веков люди пытались создать нечто, работающее само по себе, безо всяких воздействий извне. Впоследствии этому устройству дали определение *Perpetuum Mobile* или Вечный двигатель. Многие знаменитые ученые разных времен безуспешно пытались его создать, включая и великого Леонардо да Винчи. Он потратил несколько лет на создание вечного двигателя, как путем усовершенствования уже имеющихся моделей, так и пытаясь создать что-то принципиально новое. В конце концов разобравшись, почему же ничего не работает, он первым сформулировал заключение о невозможности создания подобного механизма. Однако изобретателей его формулировка не убедила, и они до сих пор пытаются создать невозможное.

Актуальность: Идея разработки вечного бес топливного двигателя не нова, за разработку такого агрегата во все времена брались именитые ученые своего времени. Однако ни технических средств для реализации задумки, ни возможностей того времени не хватало. В некоторых случаях дело доходило только до теоретического обоснования, но существуют примеры реально разработанных альтернативных двигателей, которые призваны создать конкуренцию классическим электрическим машинам. Я хочу показать, что ученые не ошибались и показать невозможность создания вечного двигателя, как механизма и подкрепить результат, опираясь на физические законы. В этом и заключается *гипотеза* моего проекта.

Цель и задачи

Цель моего проекта – изготовить модель вечного двигателя и протестировать его в работе.

Задачи:

- Проанализировать и систематизировать литературу по данному вопросу.
- Изучить виды вечных двигателей.
- Рассчитать материальные затраты на изготовление двигателя.
- Изготовить псевдо вечный двигатель и испытать ее в работе.
- Сделать вывод на основании исследования.

1.2. Исследование

Вечный двигатель — это такой мнимый механизм, который двигает сам себя и, кроме того, осуществляет еще какую-то полезную работу (например, поднимает груз). Другими словами это машина, которая способна работать как можно дольше, осуществляя при этом полезную работу, а ее КПД равен 100 % и выше.

Вечные двигатели обычно конструируют на основе использования таких приемов или их комбинаций:

- подъем воды с помощью архимедова винта;
- подъем воды с помощью капилляров;
- использование колеса с неравновешенными грузами;
- естественные магниты;
- электромагнетизм;
- пар или сжатый воздух.

1.3. Принцип действия тепловых двигателей.

Для того чтобы двигатель совершал работу, необходима разность давлений по обе стороны поршня двигателя или лопастей турбины. Во всех тепловых двигателях эта разность давлений достигается за счёт повышения температуры *рабочего тела* (газа) на сотни или тысячи градусов по сравнению с температурой окружающей среды. Такое повышение температуры происходит при сгорании топлива. Одна из основных частей двигателя — сосуд, наполненный газом, с подвижным поршнем. Рабочим телом у всех тепловых двигателей является газ, который совершает работу при расширении. Обозначим начальную температуру рабочего тела (газа) через T_1 . Эту температуру в паровых турбинах или машинах приобретает пар в паровом котле. В двигателях внутреннего сгорания и газовых турбинах повышение температуры происходит при сгорании топлива внутри самого двигателя. Температуру T_1 называют *температурой нагревателя*.

Роль холодильника. По мере совершения работы газ теряет энергию и неизбежно охлаждается до некоторой температуры T_2 , которая обычно несколько выше температуры окружающей среды. Её называют *температурой холодильника*. Холодильником является атмосфера или специальные устройства для охлаждения и конденсации отработанного пара — *конденсаторы*. В последнем случае температура холодильника может быть немного ниже температуры окружающего воздуха. Таким образом, в двигателе рабочее тело при расширении не может отдать всю свою внутреннюю энергию на совершение работы. Часть тепла неизбежно передаётся холодильнику (атмосфере) вместе с отработанным паром или выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин. Эта часть внутренней энергии топлива теряется. Тепловой двигатель совершает работу за счёт внутренней энергии рабочего тела. Причём в этом процессе происходит передача теплоты от более горячих тел (нагревателя) к более холодным (холодильнику). Принципиальная схема

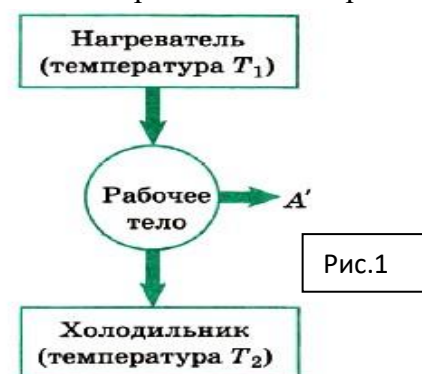


Рис.1

теплового двигателя изображена на рисунке 1. Рабочее тело двигателя получает от нагревателя при сгорании топлива количество теплоты Q_1 , совершает работу A' и передаёт холодильнику количество теплоты $Q_2 < Q_1$. Для того чтобы двигатель работал непрерывно, необходимо рабочее тело вернуть в начальное состояние, при котором температура рабочего тела равна T_1 . Отсюда следует, что работа двигателя происходит по периодически повторяющимся замкнутым процессам.

Цикл — это ряд процессов, в результате которых система возвращается в начальное состояние.

Вечный двигатель — идеальный двигатель, задуманный так, что, будучи запущенным один раз, будет работать постоянно и не будет требовать дополнительного поступления энергии. Однако подобное устройство вступает в противоречие с двумя законами термодинамики:

Первый закон термодинамики, зачастую записывается в виде: $Q = \Delta U + A$ Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение работы над внешними телами. Первый закон термодинамики представляет из себя, по сути, обобщение опытных фактов. Если руководствоваться им, то можно заявить, что энергия не возникает и не исчезает бесследно, а передается от одной системы к другой, меняя свои формы. Невозможность создания вечного двигателя первого рода, то есть машины, которая может совершать полезную работу, не потребляя энергию извне и не претерпевая каких-либо изменений во внутренней конструкции агрегата, являлась важным следствием первого закона термодинамики. В подтверждение этого выступает тот факт, что каждая из огромного множества попыток создания такого устройства неизменно заканчивалась неудачей. Реальная машина может совершать положительную работу A над внешними объектами, только получая некоторое количество теплоты Q от окружающих тел или уменьшая ΔU своей внутренней энергии.

Второй закон термодинамики (формулировка Клаузиуса): невозможно перевести тепло от более холодной системы к более горячей при отсутствии одновременных изменений в обеих системах или окружающих телах.

В итоге всем реальным двигателям нужно постоянное снабжение энергией, и ни одна тепловая машина не может превращать все тепло в полезную работу. Поэтому можно рассматривать только такие устройства, которые не противоречат глобальным законам физики. Хотя именно изобретатели в попытке создать вечный двигатель и становились двигателем прогресса в течение веков.

1.4.Классификация вечных двигателей

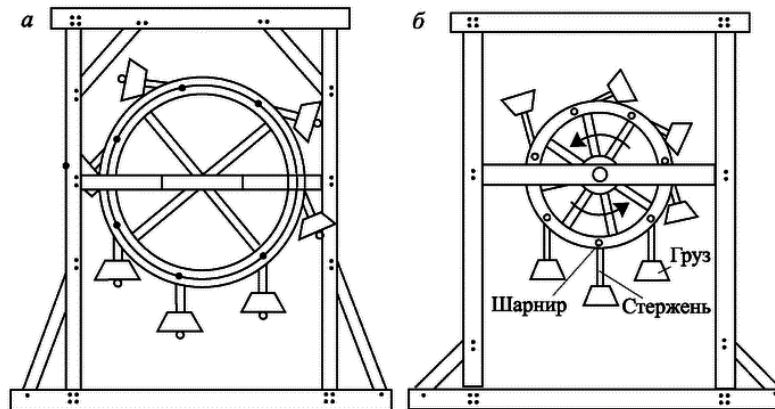
Существует такая классификация вечных двигателей:

I. Вечный двигатель первого рода – это воображаемая непрерывно действующая машина, которая, будучи раз запущенной, совершала бы работу без получения энергии извне. Вечный двигатель 1-го рода противоречит закону сохранения и превращения энергии.

1. Двигатель посредством нечетного числа молоточков или ртути

Первым теорию о вечном двигателе выдвинул индийский математик Бхаскара. Первое упоминание такого двигателя было в его рукописях, которые датируются XII веком. В рукописях Басхара описывает механизм, который приводится в движение за счет перетекания ртути или другой жидкости внутри трубочек, которые надо разместить по окружности колеса.

Конструкция выглядит перспективной из-за того, что жидкость на одной стороне колеса каждый раз будет дальше от центра.



На самом деле такая система не работает. Если сделать только две трубочки на разных сторонах колеса, то его действительно перевесит, но когда их много, разное положение жидкости в каждом все равно уравнивает систему и вращения не будет.

2. Вечный двигатель на противовесах.

Теорию такого двигателя разработал еще раньше голландский математик, механик и инженер Симон Стевин. Эта теория относится к равновесию тел, находящихся на наклонной плоскости, но выводы из нее имеют и более общее значение. Самое интересное в ходе рассуждений Стевина то, что он даже не считает необходимым доказывать невозможность создания вечного двигателя; он считает это истиной, не требующей доказательства, — аксиомой. Такую четкую позицию занимал до Стевина только Леонардо да Винчи.

Рисунок, относящийся к теории равновесия тел на наклонной плоскости, Стевин счел настолько важным, что вынес его на титульную страницу своего трактата «О равновесии тел», изданного в Лейдене (1586 г.). На рисунке Стевина показана трехгранная призма, грани которой имеют разную ширину. Самая широкая грань установлена горизонтально, ниже других. Две другие, наклонные, сделаны так, что правая имеет ширину вдвое меньшую, чем левая. На призму накинута замкнутая цепь с 14 тяжелыми одинаковыми шарами. Рассматривая равновесие этой цепи, можно видеть (если исключить нижние восемь шаров, которые, очевидно, уравновешены), что на меньшей грани находятся два шара, а на большей — четыре. «Будет ли цепь находиться в равновесии?» — спрашивает Стевин. Если это так, то происходит чудо. Четыре шара уравновешиваются двумя!

Стевин, исходя из невозможности вечного движения, утверждает, что никакого чуда нет и два шара совершенно «законно» уравновешивают четыре. Он выводит теорему: «Тело на наклонной плоскости удерживается в равновесии силой, которая действует в направлении наклонной плоскости и во столько меньше его веса, во сколько длина наклонной плоскости больше высоты ее».

Если взять два груза G_1 и G_2 (рис. а), то условие их равновесия для данной задачи Стевина запишется так:

$$G_1 / G_2 = ab / bc = 1/2.$$

Четыре шара весят как раз вдвое больше, чем два. Пользуясь современной терминологией, можно выразить эту теорему в более удобной форме (рис. б): сила F' удерживающая груз на наклонной плоскости и равная по значению противоположно направленной

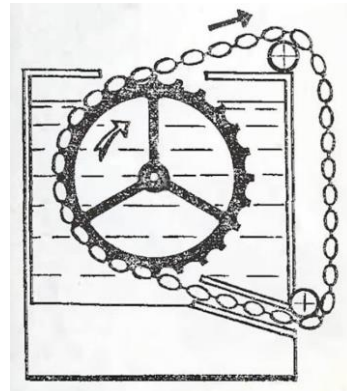
силе F , стремящейся его сдвинуть, определяется (если пренебречь трением) произведением его веса G на синус угла α наклона плоскости к горизонтالي:

$$F = G \sin \alpha.$$

Если плоскость вертикальна, то $\alpha = 90^\circ$ будут неизбежно в точности одинаковы.

3. Вечный двигатель Архимеда

На самом деле сам Архимед не изобрел никакого вечного двигателя. Он только сформулировал закон, согласно которому и работает следующая система. С этим законом знаком каждый, кто хоть раз бросал в воду мяч, поплавков или другой надувной предмет. Так как то, что весит меньше, чем вода, выталкивается ей, это тоже можно использовать в качестве вечного двигателя и подобные концепты были. Например, можно попробовать поместить в систему шарики, которые будут всплывать из воды и раскручивать двигатель. Проблема в том, что в замкнутой системе «отработанные» шарики надо снова погружать в воду, а на это нужно больше энергии, чем появляется при всплывании. Именно поэтому система почти моментально придет в равновесие и перестанет двигаться. Если только не заставить жидкость находиться с одной стороны, то удержать ее без потерь будет невозможно. Если ее постоянно подливать, то такой механизм уже не будет соответствовать основным требованиям, предъявляемым к вечному двигателю.



4. Вечный двигатель на магнитах.

Какой бы хорошей и интересной не была эта конструкция, но в мире не найдется такого магнита, который бы давал энергию бесконечно. В итоге двигатель перестанет работать.

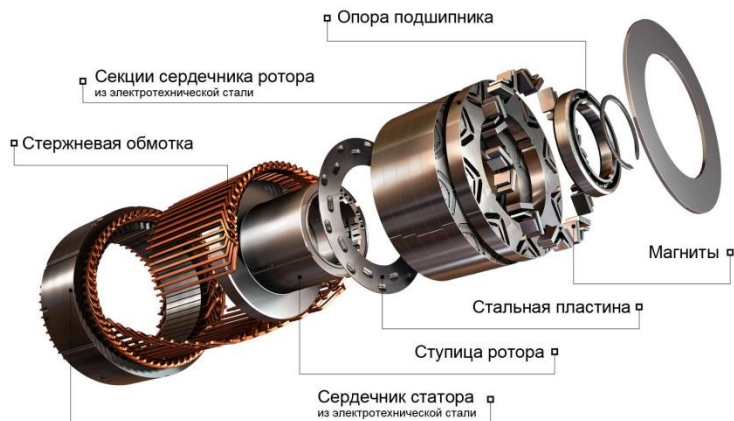
Идея появления магнитного вечного двигателя стала появляться при появлении неодимовых магнитов (мощный постоянный магнит, состоящий из сплава редкоземельного элемента неодима, бора и железа.) Идея заключается в том, что магнит притягивает расположенные на вращающемся колесе противоположные части и проводит конструкцию в движение. Конструкция пусть и проста, но даже если не учитывать потери от трения или просто исключить их, поместив систему в вакуум, двигатель все равно не будет вечным. Как раз из-за того, что магниты со временем теряют свои свойства.

Устройство и принцип работы магнитного двигателя

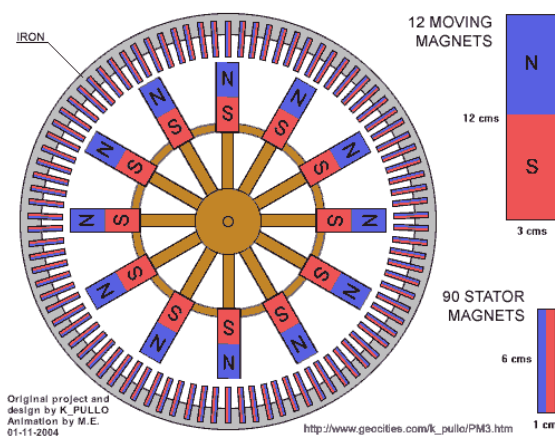
Двигатели на протяжении многих лет используются для преобразования электрической энергии в механическую различного типа. Эта особенность определяет столь высокую его популярность: обрабатывающие станки, конвейеры, некоторые бытовые приборы – электродвигатели различного типа и мощности, габаритных размеров используются повсеместно. Существует несколько разновидностей, некоторые пользуются популярностью, другие не оправдывают сложность подключения, высокую стоимость. Двигатель на постоянных магнитах используют реже, чем асинхронный вариант исполнения. Для того, чтобы оценить возможности этого варианта исполнения, следует рассмотреть особенности конструкции, эксплуатационные качества и многое другое.

Электродвигатель на постоянных магнитах не сильно отличается по виду конструкции. При этом, можно выделить следующие основные элементы:

- Снаружи используется электротехническая сталь, из которой изготавливается сердечник статора.
- Затем идет стержневая обмотка.
- Ступица ротора и за ней специальная пластина.
- Затем, изготовленные из электротехнической стали, секции редечника ротора.
- Постоянные магниты являются частью ротора.
- Конструкцию завершает опорный подшипник.



Как любой вращающийся электродвигатель, рассматриваемый вариант исполнения состоит из неподвижного статора и подвижного ротора, которые при подаче электроэнергии взаимодействуют между собой. Отличие рассматриваемого варианта исполнения можно назвать наличие ротора, в конструкцию которого включены магниты постоянного типа. При изготовлении статора, создается конструкция, состоящая из сердечника и обмотки. Остальные элементы являются вспомогательными и служат исключительно для обеспечения наилучших условий для вращения статора.



Принцип работы рассматриваемого варианта исполнения основан на создании центробежной силы за счет магнитного поля, которое создается при помощи обмотки. Стоит отметить, что работа синхронного электродвигателя схожа с работой трехфазного асинхронного двигателя.

К основным моментам можно отнести:

- Создаваемое магнитное поле ротора вступает во взаимодействие с подаваемым током на обмотку статора.
- Закон Ампера определяет создание крутящего момента, который и заставляет выходной вал вращаться вместе с ротором.
- Магнитное поле создается установленными магнитами.

- Синхронная скорость вращения ротора с создаваемым полем статора определяет сцепление полюса магнитного поля статора с ротором. По этой причине, рассматриваемый двигатель нельзя использовать в трехфазной сети напрямую.
В данном случае, нужно в обязательном порядке устанавливать специальный блок управления.

В зависимости от особенностей конструкции, существует несколько типов синхронных двигателей. При этом, они обладают разными эксплуатационными качествами.

По типу установки ротора, можно выделить следующие типы конструкции:

- С внутренней установкой – наиболее распространенный тип расположения.
- С внешней установкой или электродвигатель обращенного типа.

Постоянные магниты включены в конструкцию ротора. Их изготавливают из материала с высокой коэрцитивной силой.

Эта особенность определяет наличие следующих конструкций ротора:

- Со слабо выраженным магнитным полюсом.
- С ярко выраженным полюсом.

Равная индуктивность по перечным и продольным осям – свойство ротора с неявно выраженным полюсом, а у варианта исполнения с ярко выраженным полюсом подобной равности нет.

Кроме этого, конструкция ротора может быть следующего типа:

- Поверхностная установка магнитов.
- Встроенное расположение магнитов.

Кроме ротора, также следует обратить внимание и на статор.

По типу конструкции статора, можно разделить электродвигатели на следующие категории: -
Распределенная обмотка.

- Сосредоточенная обмотка.

По форме обратной обмотке, можно провести нижеприведенную классификацию:

- Синусоида.
- Трапецеидальная.

Подобная классификация оказывает влияние на работу электродвигателя.

Преимущества и недостатки

Рассматриваемый вариант исполнения имеет следующие достоинства:

- Оптимальный режим работы можно получить при воздействии реактивной энергии, что возможно при автоматической регулировке тока. Эта особенность обуславливает возможность работы электродвигателя без потребления и отдачи реактивной энергии в сеть. В отличие от асинхронного двигателя, синхронный имеет небольшие габаритные размеры при той же мощности, но при этом КПД значительно выше.
- Колебания напряжения в сети в меньшей степени воздействуют на синхронный двигатель. Максимальный момент пропорционален напряжению сети.

- Высокая перегрузочная способность. Путем повышения тока возбуждения, можно провести значительное повышение перегрузочной способности. Это происходит на момент резкого и кратковременного возникновения дополнительной нагрузки на выходном валу.
- Скорость вращения выходного вала остается неизменной при любой нагрузке, если она не превышает показатель перегрузочной способности.

К недостаткам рассматриваемой конструкции можно отнести более сложную конструкцию и вследствие этого более высокую стоимость, чем у асинхронных двигателей. Однако в некоторых случаях, обойтись без данного типа электродвигателя невозможно.

II. Вечный двигатель второго рода — мнимая тепловая машина, которая в результате прохождения кругового процесса (цикла) полностью преобразует теплоту, получаемую от какого-то одного «неисчерпаемого» источника (океана, атмосферы и т.п.), в работу. Действие вечного двигателя 2-го рода не противоречит закону сохранения и превращения энергии, но нарушает второй закон термодинамики, и потому существование такого двигателя является невозможным.

Уильям Томсон (лорд Кельвин) сформулировал принцип невозможности вечного двигателя второго рода (1851 г.), поскольку в природе невозможны процессы, единственным следствием которых была бы механическая работа, произведённая за счет охлаждения теплового резервуара.

Трудно сейчас установить, когда именно был предложен первый проект вечного двигателя второго рода. Во всяком случае, достоверно известно, что это произошло более 100 лет назад.

Первым известным изобретателем в этой области был некий американский профессор Гэмджи, предложивший сконструированный им так называемый нуль-мотор, который должен был работать, извлекая теплоту, как мы бы теперь сказали, из равновесной окружающей среды. Было это в 1880 г.

Вторым, кто предложил двигатель, работающий на «теплоте окружающей среды», был тоже американец Ч. Триплер, человек более известный, чем Гэмджи, в связи с тем, что он сконструировал (правда, на основе уже известных разработок) действующую установку для сжижения воздуха. Публикация о двигателе Триплера появилась впервые в 1899 г.

Как же, по мысли автора, должен был работать этот двигатель? Известно, что при температуре окружающей среды (например, $300\text{ K} = 27\text{ }^\circ\text{C}$) аммиак кипит при давлении $1,0\text{ МПа}$ (10 ат). Следовательно, в котле с жидким аммиаком, помещенным в эту среду, установится повышенное по сравнению с атмосферным давление пара. Можно направить этот пар в низкотемпературную поршневую машину (так называемый детандер). В этом случае он расширяется, и давление становится, например $0,1\text{ МПа}$ (1 ат), отдавая внешнюю работу, соответственно охлаждается до 250 K ($-23\text{ }^\circ\text{C}$) и частично при этом ожидается. Жидкий аммиак вместе с паром через выпускной клапан поступает в насос, который приводится в движение самой расширительной машиной, — детандером. В насосе давление аммиака снова поднимается до $1,0\text{ МПа}$ (10 ат). Холодная смесь жидкого аммиака и пара возвращается в котел. Здесь за счет теплоты $Q_{O.C.}$, поступающей из более теплой атмосферы (напомним, что аммиак после расширения имеет температуру $-23\text{ }^\circ\text{C}$), он снова испаряется. Пар отводится в детандер, и цикл повторяется. Таким образом, двигатель работает, отдавая потребителю работу L (равную

работе, производимой детандером, за вычетом небольшой ее части, затраченной на привод насоса).

Никакого нарушения первого закона термодинамики — закона сохранения энергии — здесь нет: сколько ее подводится из окружающей среды $Q_{O.C.}$, столько и отводится в виде работы ($L = Q_{O.C.}$). Вроде бы все в порядке.

Но двигатель почему-то не работал. В чем же дело?

Чтобы ответить на этот вопрос, составим энтропийный и эксергетический балансы «нуль-мотора». С энтропийным балансом дело обстоит хуже, чем с энергетическим: с теплотой вносится некоторая энтропия $Q_{O.C.}/T_{O.C.}$, а с работой энтропия не выносится, так как энтропия потока работы равна нулю. Следовательно, энтропия не только уменьшается, а даже исчезает. Это явное нарушение второго закона.

То же показывает эксергетический баланс. Эксергия поступающей теплоты равна нулю, она неработоспособна, так как имеет температуру окружающей среды $T_{O.C.}$. Получаемая работа равна эксергии, следовательно, энергия отводится, но не подводится — она возникает «из ничего». КПД «нуль-мотора» равен бесконечности:

$$\eta_e = \frac{E''}{E'} = \frac{L}{0} \rightarrow \infty.$$

Другими словами, «нуль-мотор» будет вместо работы *выдавать* энтропию, приближая, если верить Клаузиусу, конец света.

Вечный двигатель третьего рода - работающий за счет вакуума не существует, но существуют до сих пор изобретатели, которые хотят получить энергию из «ничего». Теперь «ничего» получило название «физический вакуум», и они хотят получать неограниченное количество энергии из «физического вакуума». Их проекты по «простоте и наивности» не уступают проектам предшественников, живших несколько веков назад. Новые вечные двигатели получили название «вакуумно-энергетические установки»; изобретатели сообщают о фантастических КПД подобных двигателей — 400 — 3000 %! Их даже пытаются создать сейчас в уважаемых конструкторских бюро, что, по-видимому, говорит о чрезмерной лирике некоторых современных физиков.

Глава 2. Практическая часть

2.1. Этапы изготовления

При создании моего проекта можно выделить следующие этапы:

1. Создание модели деталей двигателя с помощью программы «Компас 3 D»

(Приложение 1,2,3)

2. Печать деталей на 3 D принтере. (примерно 8часов)

3. Сборка двигателя

После прохождения всех этапов изготовления приступлю к испытанию. Сейчас моя работа находится на стадии печати деталей. После того как напечатаю все детали, приступлю к сборке модели двигателя.

2.2. Материальные затраты

При изготовлении псевдо вечного двигателя на постоянных магнитных мне понадобится:

1. Пластик типа PLA, диаметром 1,75 мм – 200р
2. Подшипник – 20р
3. 65 магнитов – 1500 р

Итого: 1720 р.

Эта сумма приблизительная, так как могут понадобится дополнительные детали в процессе сборки.

2.3 Вывод.

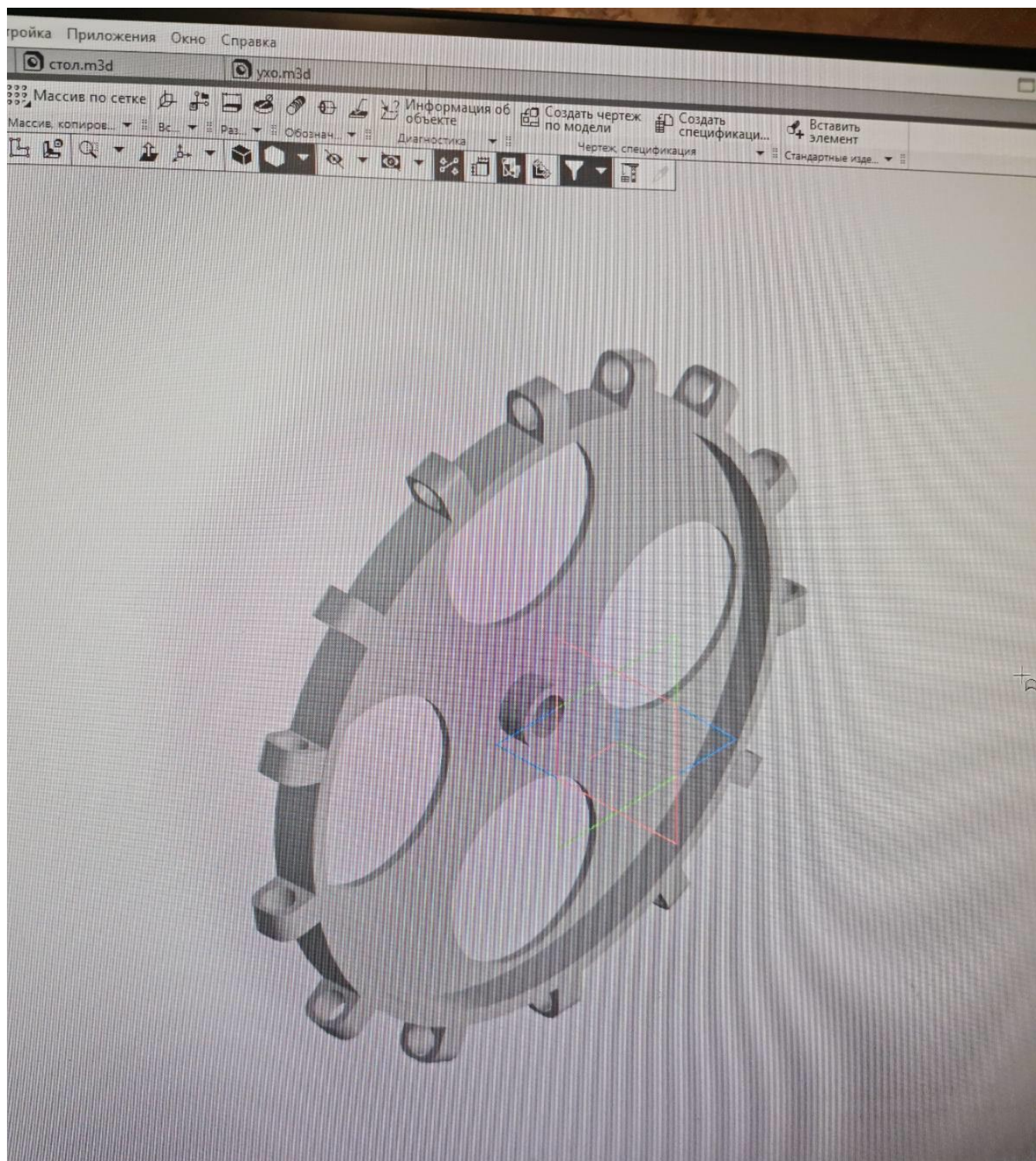
В ходе исследований я доказал и подкрепил физическими законами невозможность создания вечного двигателя. Но проделанный учеными путь был не зря и их старания поспособствовали созданию двигателей с более высоким КПД по сравнению с ранее созданными двигателями. Не бывает «Вечных» магнитных двигателей, бывают магнитные двигатели с высоким КПД (стремящимся к 100%). Я исследовал работу, только одного двигателя, но в будущем планирую создать псевдо вечный двигатель «Диск Эйлера» и протестировать его в вакууме. Также хочу создать двигатель на противовесах и протестировать его в работе.

Литература

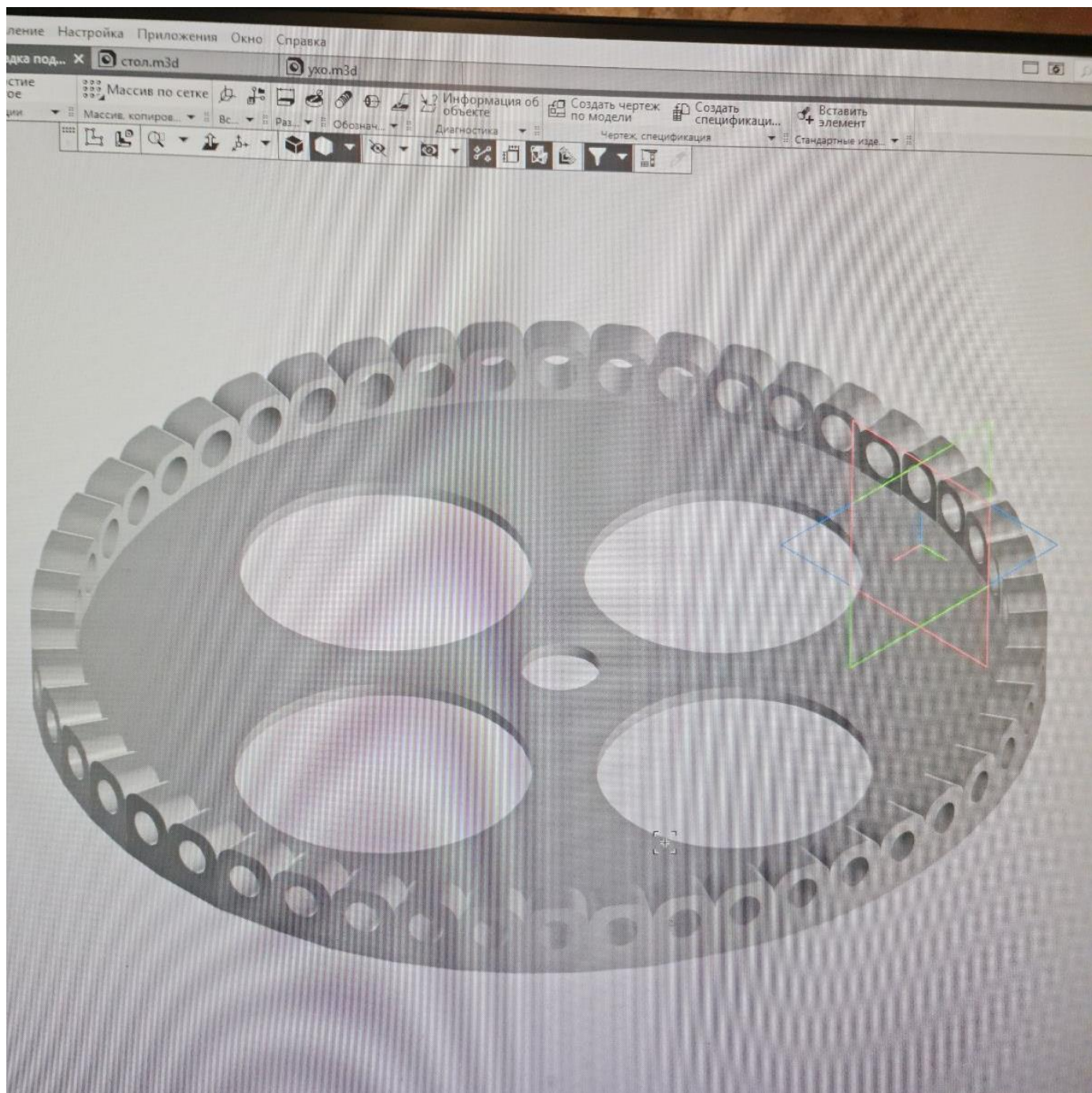
1. *В.М. Бродянский*, «Вечный двигатель прежде и теперь. От утопии — к науке, от науки — к утопии», Изд. ФИЗМАТЛИТ, 2001.
2. Физика. 10 класс: учеб, для общеобразоват. организаций с прил. на электрон, носителе : базовый уровень / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский; под ред. Н. А. Парфентьевой
Источники:
 1. <https://zaochnik.com/spravochnik/fizika/termodinamika/pervyj-zakon-termodinamiki/>
 2. https://hi-news.ru/technology/kak-rabotaet-vechnyj-dvigatel-i-primery-ego-konstrukcii.html#vechnyj_dvigatel_na_magnitax
 3. <https://blog.comfy.ua/samye-udachnye-popytki-sozdat-vechnyj-dvigatel/>
 4. <https://zen.yandex.ru/media/elektronzhik/vechnyi-magnitnyi-dvigatel-mif-ili-realnost-6167fef53b10c81d587c731b>
 5. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82
 6. <https://slarkenergy.ru/oborudovanie/engine/na-postoyannyx-magnitax.html>

Приложения.

Приложение 1.



Приложение 2



Приложение 3.

