

**Всероссийский конкурс научно-технологических
проектов «Большие вызовы»**

Секция «Современная энергетика»

**Гирляндные гидроэлектростанции, как источник
энергии для труднодоступных регионов**

Автор: Крапля Владимир Михайлович,
учащийся 11А класса, МБОУ г. Мурманска
СОШ №36

Руководитель: Локтионова Надежда
Анатольевна, учитель физики МБОУ
г. Мурманска СОШ №36

Содержание

Содержание	2
1.Введение	3
2.Основная часть	4
2.1. Мини ГЭС с турбинами шнекового типа (Рис. 1):	4
2.2. Гравитационно-вихревые ГЭС с цилиндрическим бассейном (Рис. 2): .	5
2.3. Мини ГЭС пропеллерного типа (Рис. 3):.....	6
2.4. Мини ГЭС роторного типа.....	7
2.5. Предлагаемая установка гирляндной мини ГЭС	8
2.6. Расчёты параметров гирляндной мини ГЭС	12
2.6.1. Проектировочный расчёт для поперечной гирляндной ГЭС	12
2.6.2. Проектировочный расчёт торцевой гирляндной ГЭС	13
2.7. Моделирование и производство макета мини ГЭС.....	15
2.7.1. Создание макета экспериментальной установки.....	15
2.7.2 Создание трубы, имитирующей поток воды.....	16
3.Заключение	17
4.Литературные и Интернет источники	17
5.Приложение	19

1. Введение

Тема: разработка гидротурбин для гирляндных гидроэлектростанций для обеспечения электроэнергией труднодоступных регионов с применением технологий 3D моделирования и 3D печати.

Актуальность:

- Предложенный вариант энергообеспечения является экологически чистым и автономным (то есть он не требует проведения ЛЭП от крупных электростанций к местам, где экономически целесообразней строительство мини ГЭС).
- В работе применяются такие передовые технологии, как 3D печать и 3D моделирование.

Проблема исследования: обеспечение труднодоступных частных домов и других потребителей экологически чистой электроэнергией.

Практическая значимость: появление новой конструкции гидротурбин.

Предмет исследования: Гидротурбины для гирляндных мини ГЭС.

Цель работы:

- Предложить новую конструкцию гидротурбин для гирляндных гидроэлектростанций.
- Рассчитать необходимые параметры мини ГЭС: её КПД, мощность, количество оборотов в секунду, крутящий момент, создаваемый гирляндой турбин, нагрузку на турбины и трос, параметры потока воды и другие необходимые значения.
- Разработать и напечатать на 3D принтере 3D модель испытательной установки для гидротурбин.
- Создать установку, имитирующую поток воды, которая бы доказывала работоспособность предложенной конструкции гидротурбин.

Задачи:

- Рассмотреть существующие варианты мини ГЭС.
- Проанализировать их преимущества и недостатки.
- Рассмотреть типы гирляндных мини ГЭС.
- Проанализировать их преимущества и недостатки.
- Рассчитать необходимые параметры гирляндной мини ГЭС.
- Доказать работоспособность предложенных гидротурбин.
- Разработать 3D модель экспериментальной установки.
- Напечатать макет экспериментальной установки на 3D принтере.

Методы исследования:

- Научно-литературный поиск.
- Систематизация полученной информации.
- Анализ полученной информации.
- Моделирование.
- Эксперимент.

Мини-гидроэлектростанции главным образом отличаются от крупных ГЭС тем, что для них не требуется создавать огромных водохранилищ, изменяя рельеф местности. Малых габаритов станции более чем достаточно для обеспечения частных домов и не энергоёмких предприятий. А строительство крупных ГЭС целесообразно только в случае необходимости обеспечить энергией стратегические предприятия страны.

Мини ГЭС можно ставить в водоём, который имеет собственное течение, также имеется возможность создавать напор при помощи перепада высот (создаётся небольшими плотинами), отвода воды в отдельный “рукав”.

2.Основная часть

Рассмотрим применяющиеся сегодня типы мини ГЭС:

2.1. Мини ГЭС с турбинами шнекового типа (Рис. 1):

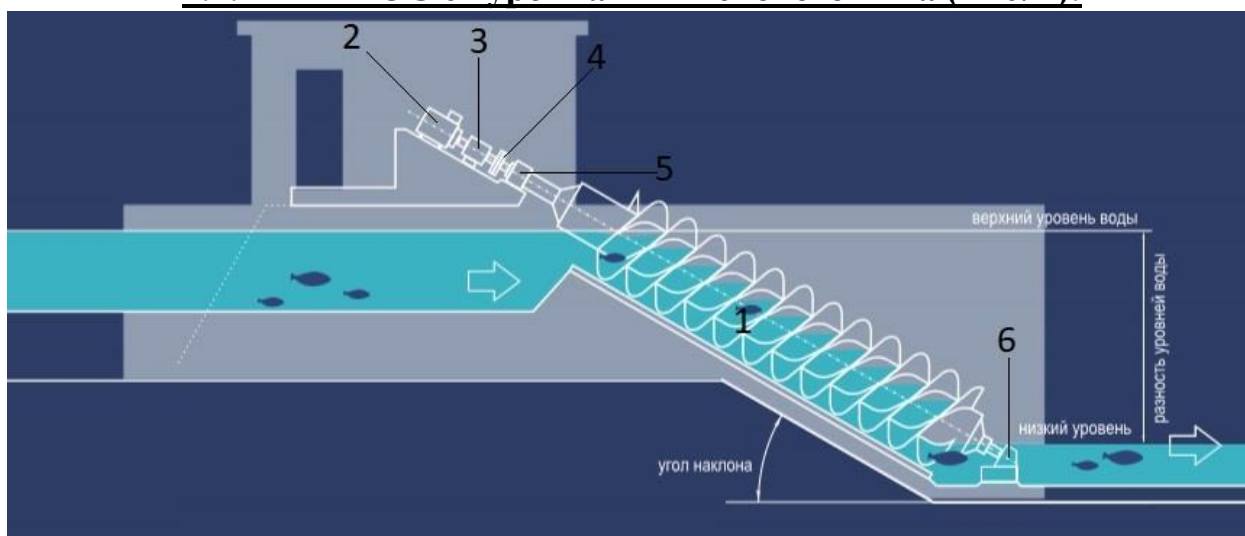


Рис. 1

Устройство:

1. Винтовая турбина
2. Электрический генератор
3. Коробка передач
4. Гибкая муфта
5. Верхний подшипник
6. Нижний подшипник

Достоинства:

1. Возможность установки на низконапорных плотинах
2. Долговечность
3. Обеспечивает безопасный проход рыбы
4. Простая конструкция
5. Высокое КПД

Недостатки:

1. Необходимость строительства плотины
2. Большие затраты стройматериалов в сравнении с аналогами

2.2. Гравитационно-вихревые ГЭС с цилиндрическим бассейном**(Рис. 2):**

Рис. 2

Устройство:

1. Электрогенератор
2. Соединительная муфта
3. Турбина

Достоинства:

1. Возможность установить на одной реке несколько таких конструкций
2. Простота и надёжность конструкции
3. Долговечность

Недостатки:

1. Не безопасна для рыбы (компенсируется возможностью закрытия заслонки подачи воды)
2. Необходимость рытья “рукава”, где будет установлен цилиндр с подходящим по касательной к нему руслом

2.3. Мини ГЭС пропеллерного типа (Рис. 3):

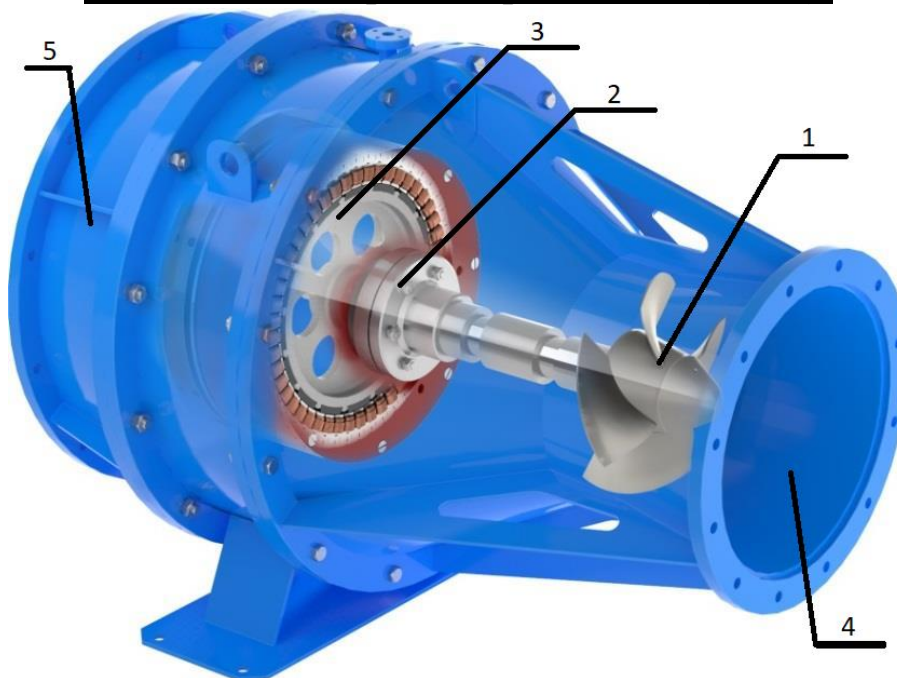


Рис.3

Устройство:

1. Гидротурбина
2. Соединительная муфта
3. Синхронный электрогенератор
4. Отверстие для входа потока воды
5. Отверстие для выхода потока воды

Достоинства:

1. Возможность размещения нескольких установок на одной реке
2. Простота монтажа
3. Компактность

Недостатки:

1. Необходимость полного погружения под воду (следовательно, не все реки подходят по своим габаритам)
2. Опасность для рыбы

2.4. Мини ГЭС роторного типа

Применяют форму лопастей ветрогенераторов (Рис. 4), но только меняют толщины в соответствии с условиями работы под водой.

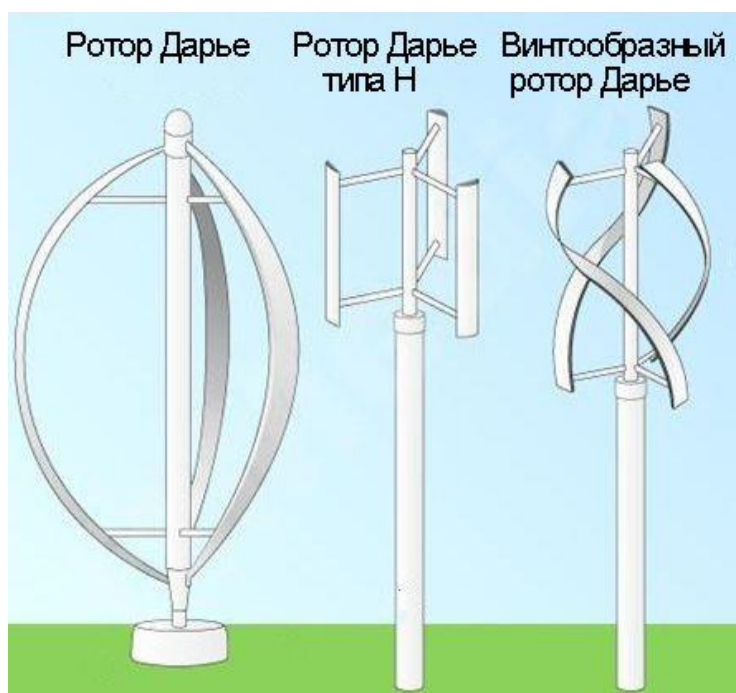


Рис.4

Примером мини ГЭС подобного типа может служить данный образец (Рис.5)



Рис.5

Устройство:

1. Электрогенератор
2. Ротор Дарье типа Н

Достоинства:

1. Безопасность для рыб

2. Компактность
3. Простота монтажа

Недостатки:

1. Необходимость индивидуальных расчётов параметров лопастей ротора
2. Необходимость полного погружения роторов под воду

2.5. Предлагаемая установка гирляндной мини ГЭС

Гирляндные мини ГЭС бывают двух типов: **торцевые** и **поперечные**.

Рассмотрим сначала установку **поперечного** типа (Рис 6):

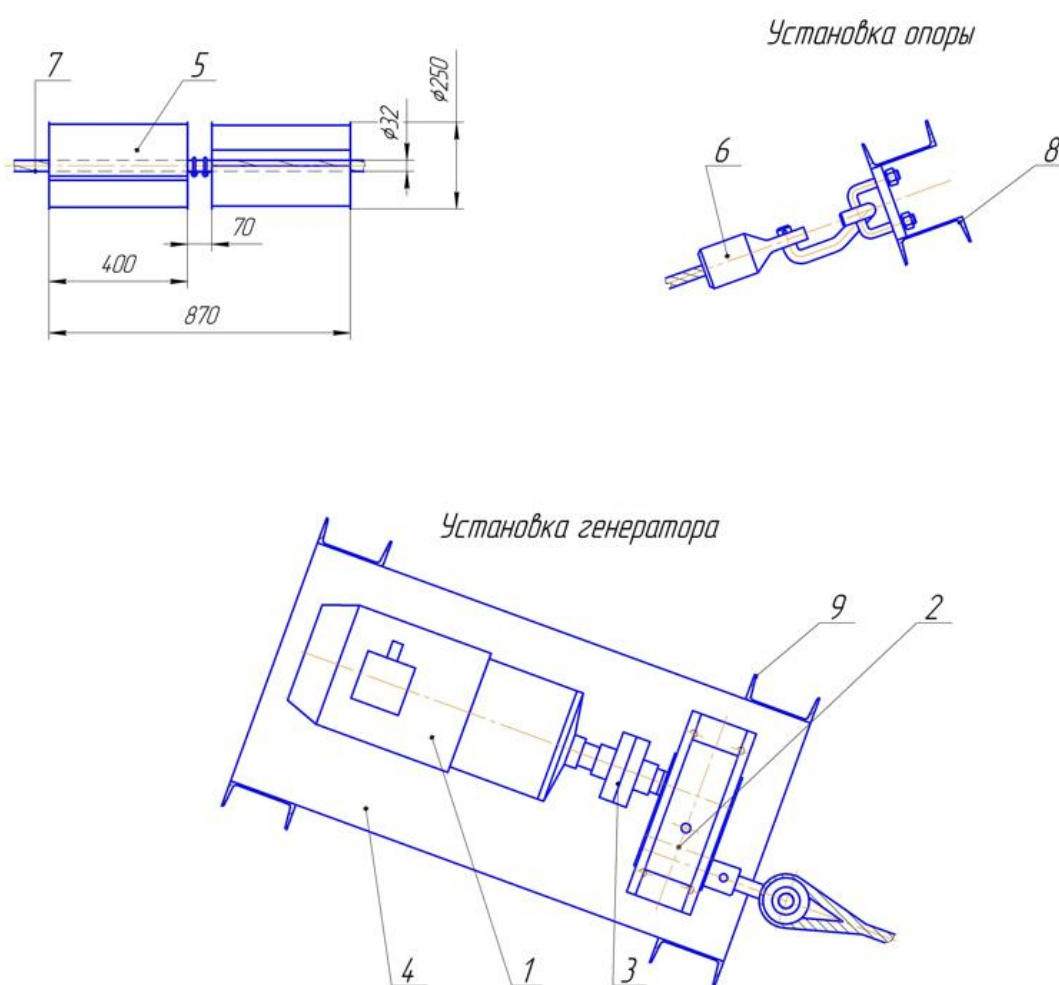


Рис. 6

Устройство:

1. Генератор
2. Редуктор
3. Муфта соединительная
4. Площадка генератора

5. Турбина (устанавливаются попарно под углом 90° друг к другу)
6. Вертлюг
7. Трос (необходимо учитывать направление)
8. Береговая опора
9. Опора генератора

В зависимости от условий места строительства и необходимости использования водоёма в качестве транспортной артерии возможно два режима работы: на плавучесть и на погружение (Рис. 7).

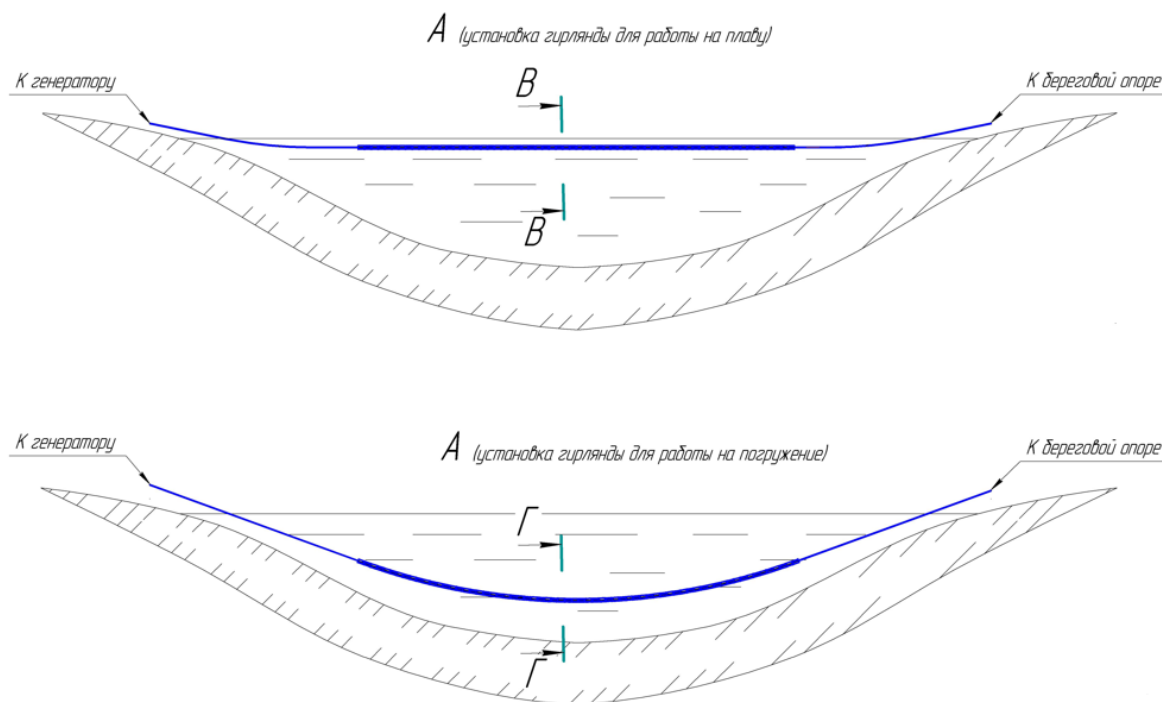


Рис. 7

Преимущества:

1. Простота конструкции
2. Простота обслуживания
3. Модульность (Если одна турбина гирлянды выйдет из строя её возможно легко заменить)
4. Отсутствие вреда речным обитателям (За счёт возможности быстрого съёма конструкции во время нереста рыб, или за счёт организации специального рыбохода, т.к. установка не занимает весь объём реки)
5. Отсутствие необходимости строительства плотин и других сооружений
6. Простота конструкции применяемых турбин (будет рассмотрена далее)

Недостатки:

1. Максимальная мощность поперечной гирляндной мини ГЭС зависит от ширины водоёма
2. Сезонность данной мини ГЭС, зимой, когда водоём замерзает её работа невозможна (Компенсируется быстротой демонтажа установки)

Важно отметить, что конструкция турбины в гирляндной мини ГЭС крайне проста и представляет из себя два полуцилиндра со смещённой осью (Рис. 8).

Особенность предложенной конструкции гидротурбин заключается в наличии бокового раструба, предназначенного для увеличения потока воды, попадающего в турбину при торцевом режиме работы мини ГЭС.

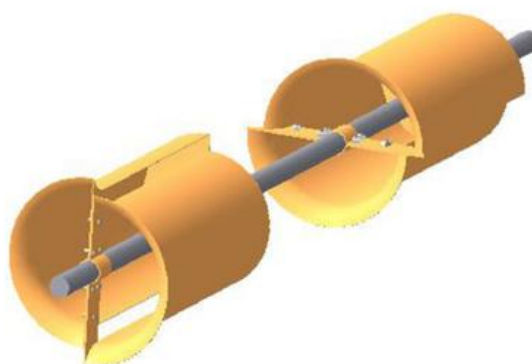


Рис.8

Теперь рассмотрим установку **торцевого** типа (Рис. 9, 10):

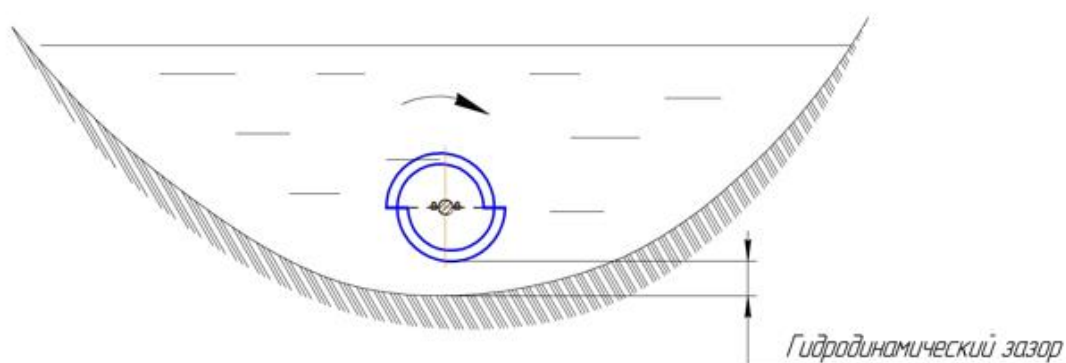


Рис. 9

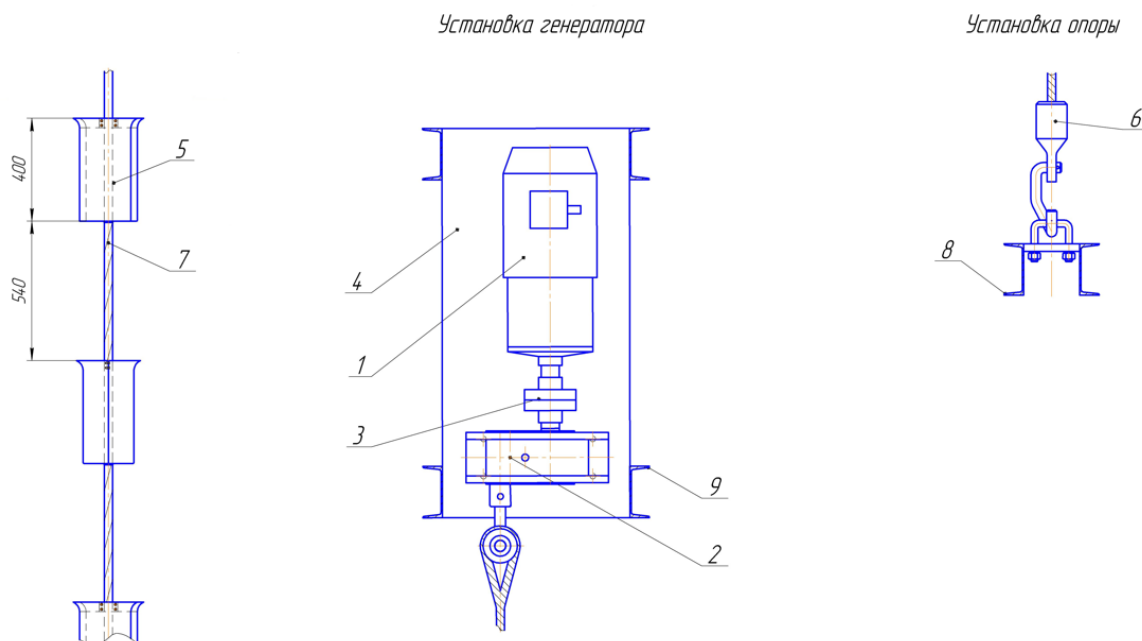


Рис. 10

Устройство:

1. Генератор
2. Редуктор
3. Муфта соединительная
4. Площадка генератора
5. Турбина торцевая (устанавливаются попарно под углом 90° друг к другу)
6. Вертлюг
7. Трос (необходимо учитывать направление)
8. Береговая опора
9. Опора генератора

Преимущества:

1. Основные преимущества поперечных турбин также относятся и к торцевым, но
2. Максимальная мощность установки не зависит от ширины реки, т.к. мини ГЭС размещается вдоль реки, соответственно длина гирлянды будет зависеть только от потребностей заказчика.

Недостатки:

1. Сезонность мини ГЭС
2. Необходимость полного погружения турбин под воду

2.6. Расчёты параметров гирляндной мини ГЭС

Исходные данные:

- В расчётах исходили из того, что скорость потока воды составляет – $v_{п}=2,5$ м/с. Данную скорость течения мы можем наблюдать во многих реках Мурманской области (реки Варзуга, Восточная лица, Дроздовка).
- Глубина и ширина водного потоков колеблется в широких пределах поэтому в данном расчёте принято: глубина водного потока – $B = 2$ м, ширина водного потока – $H = 5 \dots 60$ м.

2.6.1. Проектировочный расчёт для поперечной гирляндной ГЭС

2.6.1.1. Мощность одной гирлянды с поперечными турбинами определяем по формуле:

$$N_{\text{ПГИР}} = D \cdot L \cdot \frac{v_p^2}{2} \cdot \eta_n, \text{ кВт}$$

где

$D = 0,25$ – наружный диаметр поперечной турбины;

$L = 30$ м – длина активной части гирлянды;

$v_p = 2,5$ м/с – минимальная скорость воды в реке;

$\eta_n = 0,46$ – натечный коэффициент полезного действия поперечной турбины.

Подставляя все значения аргументов в формулу 2.6.1.1 получим

$$N_{\text{ПГИР}} = D \cdot L \cdot \frac{v_p^2}{2} \cdot \eta_n = 0,25 \cdot 30 \cdot \frac{2,5^2}{2} \cdot 0,46 \approx 10,78 \text{ кВт}$$

2.6.1.2. Мощность на выходе генератора определим по формуле:

$$N_{\text{ГЕН}} = N_{\text{ПГИР}} \cdot \eta_{\text{ГЕН}} \cdot \eta_{\text{РЕД}} = 10,78 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \approx 7,76 \text{ кВт}$$

где

$\eta_{\text{ГЕН}} = 0,9$ – коэффициент полезного действия генератора;

$\eta_{\text{РЕД}} = 0,8$ – коэффициент полезного действия редуктора.

На среднестатистический частный дом необходимо ≈ 15 кВт

2.6.1.3. Скорость вращения турбины определим по формуле:

$$n_T = C_{\Pi} \cdot \frac{v_T}{D} = 0,28 \cdot \frac{2,5}{0,25} = 2,8 \text{ об/с}$$

где

$C_{\Pi} = 0,28$ – коэффициент скорости вращения при установившейся оптимальной нагрузке.

2.6.1.4. Крутящий момент, создаваемый гирляндой поперечных турбин, определим по формуле:

$$M_{кр} = 16,21 \cdot \frac{N_{ПГИР}}{n_T} = 16,21 \cdot \frac{10,78}{2,8} \approx 3,85 \text{ кг м}$$

2.6.1.5. Силы давления воды на гирлянду со стороны потока определим по формуле:

$$P_{ПГ} = \frac{C_x}{2} D \cdot L \cdot v_p^2 \cdot \rho, \text{ кгс}$$

где

$C_x = 0,65$ – коэффициент лобового сопротивления поперечной гидротурбины на рабочем режиме;

$\rho = 102 \text{ кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ – массовая плотность воды.

Подставляя все значения аргументов в формулу 2.6.1.4 получим:

$$P_{ПГ} = \frac{C_x}{2} D \cdot L \cdot v_p^2 \cdot \rho = \frac{0,65}{2} \cdot 0,25 \cdot 30 \cdot 2,5^2 \cdot 102 \approx 1554 \text{ кгс}$$

2.6.1.6. Диаметр троса гирлянды определим по формуле:

$$d = \sqrt[3]{\frac{D \cdot N_{ПГИР}}{0,075 \cdot v_p}}, \text{ см}$$

Подставляем все значения аргументов формулу 2.6.1.6:

$$d = \sqrt[3]{\frac{D \cdot N_{ПГИР}}{0,075 \cdot v_p}} = \sqrt[3]{\frac{0,25 \cdot 10,78}{0,075 \cdot 2,5}} \approx 2,43 \text{ см}$$

2.6.1.7. Осевое усилие на тросе поперечной гирлянды определим по формуле:

$$X_{ПГ} = 336 \cdot \frac{N_{ПГИР}}{v_p} = 336 \cdot \frac{10,78}{2,5} = 1449 \text{ кгс}$$

2.6.2. Проектировочный расчёт торцевой гирляндовой ГЭС

2.6.2.1. Давление набегающего потока на турбину определим по формуле:

$$P_{ТТ} = S_3 \cdot \frac{C_x \cdot v_p \cdot \rho}{2}, \text{ кгс}$$

где

$S_3 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,25^2}{4} = 0,049 \text{ м}^2$ – площадь заборника торцевой турбины (определяется по наружному диаметру отбортовки);
 $C_X = 1,2$ – коэффициент сопротивления.

Подставляя все значения аргументов в формулу 2.6.2.1 получим:

$$P_{TT} = S_3 \cdot \frac{C_X \cdot v_P \cdot \rho}{2} = 0,049 \cdot \frac{1,2 \cdot 2,5^2 \cdot 102}{2} = 74,97 \text{ кгс}$$

2.6.2.2. Мощность, развиваемую торцевой турбиной определим по формуле:

$$N_{1T} = S_3 \cdot k \cdot v_P^3, \text{ кВт}$$

где $k = 0,09 \dots 0,114$ – коэффициент мощности.

Подставляя все значения аргументов в формулу 2.6.2.2 получим:

$$N_{1T} = S_3 \cdot k \cdot v_P^3 = 0,049 \cdot 0,1 \cdot 2,5^3 \approx 0,077 \text{ кВт}$$

2.6.2.3. Исходя из того, что суммарная мощность торцевой гирлянды должна быть не менее 10,78 кВт, определим количество торцевых турбин в гирлянде по формуле:

$$n_{TT} = \frac{N_{ПГИР}}{N_{1T}} = \frac{10,78}{0,077} = 140 \text{ шт.}$$

2.6.2.4. Учитывая, что расстояние между соседними турбинами должно быть не менее $1,35 \cdot D$, суммарная длина рабочей части гирлянды из торцевых турбин должна быть не менее определённой по формуле:

$$L_{TT} = (L_T + 1,35 \cdot D) \cdot n_{TT} = (0,4 + 1,35 \cdot 0,25) \cdot 140 \approx 103,25 \text{ м}$$

2.6.2.5. Осевое усилие на тросе торцевой гирлянды составит

$$X_{TT} = P_{TT} \cdot n_{TT} = 74,97 \cdot 140 = 10495,8 \text{ кгс}$$

Вывод:

- Расчёт показал, что конструкция гирляндных ГЭС обеспечит возможность получения более 7 кВт электроэнергии (А если брать скорость потока воды от 6 м/с, то мощность возрастет до 45 кВт)
- Необходимо отметить, что скорость потока для торцевого варианта постановки мини ГЭС может наращиваться путём установки троса с гирляндой, в металлическую трубу у которой часть со стороны входящего потока будет сужаться до места начала гидротурбин.
- Также по итогам расчётов стоит отметить тот факт, что опыт создания гирляндных ГЭС при скорости потока выше 3 м/с, окончательное

решение необходимо принять после всестороннего изучения изготовления опытного испытания.

2.7. Моделирование и производство макета мини ГЭС

2.7.1. Создание макета экспериментальной установки

Макет был создан с целью демонстрации работы турбин при напоре воды.

В качестве способа производства макета была выбрана 3D печать, по причинам:

- Дешевизны данного метода в сравнении с другими.
- Простоты 3D моделирования.
- Перспективности данного направления

Для создания 3D модели была выбрана программа Fusion360. Требовалось создать модели гидротурбины, полужёсткой оси вращения (которая выполняла роль троса, т.к. пластик, позволял сделать ось немного гибкой), и испытательного бассейна в котором мы бы создавали напор воды, который вращал бы турбины, тем самым демонстрируя работу турбин подобной формы.

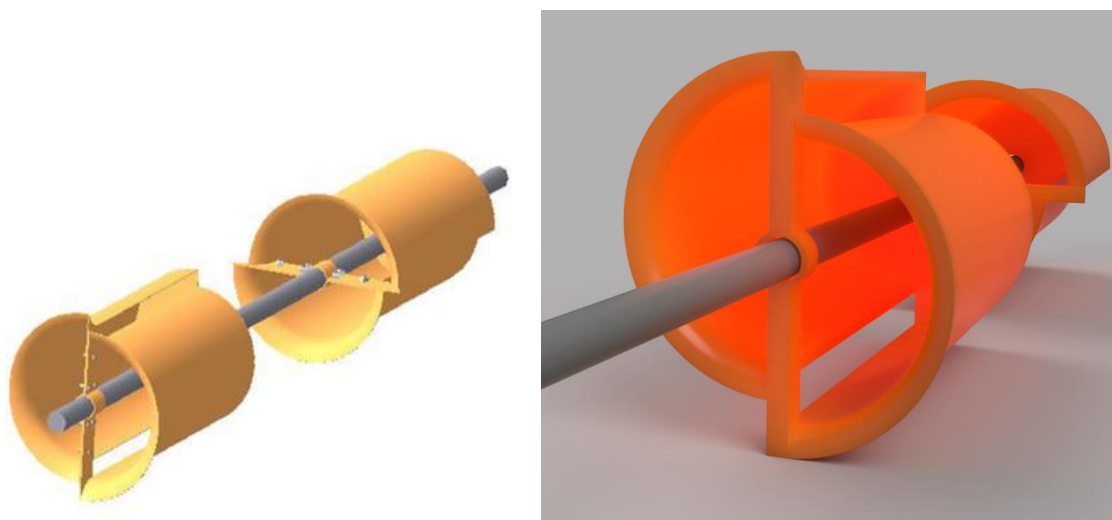


Рис.11

Как можно увидеть при сравнении двух моделей (Рис. 11), при создании модели для печати были увеличены толщины стенок и осей гидротурбины. Сделано это было для придания прочности пластиковому изделию и упрощения пост-обработки напечатанного макета.

При моделировании испытательного бассейна было необходимо сделать наклон, сужение к месту постановки первой гидротурбины для увеличения скорости потока, места для установки шлюза, регулирующего проток воды, и подшипника, уменьшающего трение оси о бассейн. Также необходимо отметить, что в установке турбины должны быть полностью

погружены в воду, а для её избытка должен быть предусмотрен путь для выхода.

В итоге была получена следующая 3D модель (Рис. 12):



Рис. 12

Следующим шагом был процесс печати модели. Для этого было необходимо разделить модель на несколько отдельных частей (в связи с ограниченностью размеров печатного стола) и сформировать из них файлы в формате “.gcode” для каждой детали макета. Этот формат файлов используется 3D принтером в качестве инструкции по печати. В качестве программы-слайсера использовалась Ultimaker Cura 4.7.

Для печати макета использовался принтер Flying Bear Ghost 5. Макет выполнен из пластика PLA. Процесс печати всех деталей занял ≈ 36 часов. После чего модели гидротурбин, оси вращения и испытательного бассейна были очищены от поддержки, которую создала-программа слайсер для более высокого качества печати, отшлифованы и доработаны различными надфилями.

2.7.2 Создание трубы, имитирующей поток воды

Для проверки работоспособности предложенной конструкции гидротурбин было необходимо создать трубу, куда мы бы лили воду и смотрели: будет ли происходить их вращение за счёт потока воды?

Труба и ряд других элементов были сделаны из пластмассовых бутылок (Рис.13, 14, 15). Для регуляции потока воды были использованы шаровой кран (Рис. 16) и верхние части пластмассовых бутылок (рис. 14, 15), в которых были проделаны отверстия для прохода воды (Рис. 17, 18). Также были использованы при сборке непосредственно гидротурбины, ограниченные в своём смещении на оси при помощи изоленты (Рис. 19). Для уменьшения трения при вращении был использован подшипник,

приклеенный к крышке нижнего регулятора потока (Рис. 20). Для центровки оси было проделано отверстие дрелью и портативной газовой горелкой в крышке верхнего регулятора потока (Рис. 19).

Производство трубы происходило следующим образом:

1. Отрезаем у бутылки I нижнюю часть и верхнюю вставляем в шаровой кран (Рис. 21).
2. Центральные части II-ой и III-ей бутылок соединяем путём сужения краёв одной бутылки при помощи помещения её в кипяток (Рис. 22) и дальнейшим соединением края, суженного с обыкновенным. Укрепляем место соединения скотчем.
3. Приклеиваем к крышке верхней части бутылки подшипник и на него насаживаем ось вращения турбин (Рис. 23).
4. Помещаем на дно I-ой бутылки нижний регулятор потока с вкрученной крышкой, к которой приклеен подшипник с осью вращения и гидротурбинами (Рис. 24).
5. Соединяем центральные части I-ой бутылки, с соединёнными II-ой и III-ей бутылками, при помощи метода, описанного в п.2 (Рис. 25).
6. Для центровки верхней части оси используем верхний регулятор потока (Рис. 26).

Труба, имитирующая поток воды готова, после чего мы её тестируем (Видео приложение 1).

3. Заключение

В ходе работы были рассмотрены преимущества гирляндных мини ГЭС в сравнении с другими типами малогабаритных гидроэлектростанций.

Была приведена конструкция гидротурбины гирлянды – простая и надёжная.

Также были приведены расчёты, доказывающие, что при достаточной скорости напора воды подобного рода ГЭС могут вырабатывать энергии более чем достаточной для обеспечения одного частного дома. Поэтому в связи простотой конструкции для производства можно сказать, что гирляндная мини ГЭС подходит для обеспечения труднодоступных регионов РФ.

Практическая значимость работы заключается в том, что был предложен для обеспечения труднодоступных регионов выработки экологически чистой энергии способ, который раньше не применялся массово на практике.

4. Литературные и Интернет источники

1. «Гирляндная ГЭС». М. -Л., Госэнергоиздат, 1963, Блинов Б., 64с.
2. «Малая гидроэнергетика». Энергоатомиздат, 1989, Михайлов Л.П., Фельдман Б.Н., Марканова Т.К.

3. «Справочник проектировщика. Гидротехнические сооружения», Стройиздат, 1983, под ред. Недриш В.П.
4. Официальный сайт компании «Гидротехническое бюро» - URL: <https://www.gidroburo.ru>
5. Отчёт о пешем походе 4 к.с. по Кольскому п-ву – значения скорости течения рек – URL: http://www.tourism.ru/phtml/users/get_report.php?543
6. Кольская энциклопедия – значение скорости течения реки Варзуга – URL: http://ke.culture.gov-murman.ru/slovnik/?ELEMENT_ID=93263
7. Сайт «Электро-Вести» – типы современных мини ГЭС, их преимущества и недостатки - URL: https://elektrovesti.net/energetika/781_samodelnaya-mini-ges
8. Официальный сайт компании idenergie – пример мини ГЭС роторного типа - URL: <https://idenergie.ca/en/riverturbine-2/>
9. Сайт «Совет инженера» - типы современных мини ГЭС, их преимущества и недостатки - URL: <https://sovet-ingenera.com/eco-energy/ekodom/gidroelektrostantsiya-svoimi-rukami.html>
10. Сайт «strport» - типы современных мини ГЭС, их преимущества и недостатки - URL: <http://strport.ru/instrumenty/mini-gidroelektrostantsiya-ges-dlya-doma>
11. Сайт компании «Новатор» - пример вихревой мини ГЭС - URL: <http://new.novatorlab.ru/ru/katalog/promyshlennost/toplivnye-elementy/vihrevaya-ges>
12. Сайт компании «УК Энерготехсервис» - типы современных мини ГЭС, их преимущества и недостатки - URL: <https://xn----dtbchbawj2amueleii7b6i.xn--p1ai/mat-chast/mini-i-mikro-ges-populyarnye-konstruktsii-i-primeneniye.html>
13. Пример прямоточной микро-ГЭС пропеллерного типа - URL: <https://docplayer.com/42455674-Pryamotochnaya-mikro-ges-propellernogo-tipa-buryashkin-s-s-imya-rukovoditelya-biznes-idei-samara-2014-g-proekta.html>
14. Сайт компании «Технологические инновационные системы» - Пример Шнековой мини ГЭС - URL: https://tisys.ru/services/catalog/energeticheskoe_i_ko/energeticheskie-ustanovki-gess-cz/shnekovye-gidroturbinnye-malye-gidroelektrostantsii-gess-cz/

5. Приложение

5.1. Тип бутылок, использовавшийся для создания корпуса трубы (Рис. 13).



Рис. 13

5.2. Тип бутылок, использовавшийся для создания «регуляторов» потока воды (Рис. 14, 15).



Рис. 14



Рис. 15

5.3. Шаровой кран (Рис. 16).



Рис. 16

5.4. Верхняя часть бутылки (Рис. 14), в которой были проделаны отверстия для прохода воды (Рис. 17).



(Рис. 17)

5.5. Верхняя часть бутылки (Рис. 15), в которой были проделаны отверстия для прохода воды (Рис. 18).



Рис. 18

5.6. Гидротурбины на оси, изолента, использовавшаяся для их фиксации, подшипники (Рис. 19).



Рис. 19

5.7. Подшипник, приклеенный к крышке нижнего регулятора потока (Рис. 20).



Рис. 20

5.8. Фотография, поясняющая пункт 1 описания производства трубы, имитирующей поток воды (п. 2.7.2.) (Рис. 21).



Рис. 21

5.9. Тарелка с кипятком, использовавшаяся для сужения одной из частей трубы (Рис. 22).



Рис. 22

5.10. Фотография, поясняющая пункт 3 описания производства трубы, имитирующей поток воды (п. 2.7.2.) (Рис. 23).



Рис. 23

5.11. Фотография, поясняющая пункт 4 описания производства трубы, имитирующей поток воды (п. 2.7.2.) (Рис. 24).



Рис. 24

5.12. Фотография, поясняющая пункт 5 описания производства трубы, имитирующей поток воды (п. 2.7.2.) (Рис. 25).



Рис. 25

5.13. Фотография, поясняющая пункт 6 описания производства трубы, имитирующей поток воды (п. 2.7.2.) (Рис. 26).



Рис. 26

5.14.Общая фотография, использовавшихся деталей при создании трубы, имитирующей поток воды (п. 2.7.2.) (Рис. 27).



Рис. 27

5.15.3D модель предложенной гидротурбины (вид сбоку) (Рис. 28).

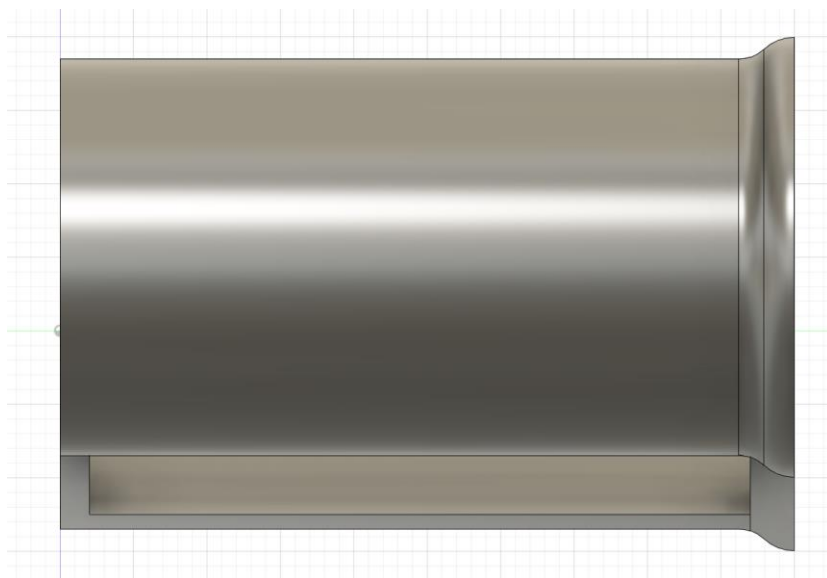


Рис. 28

5.16.3D модель предложенной гидротурбины (вид спереди) (Рис. 29).

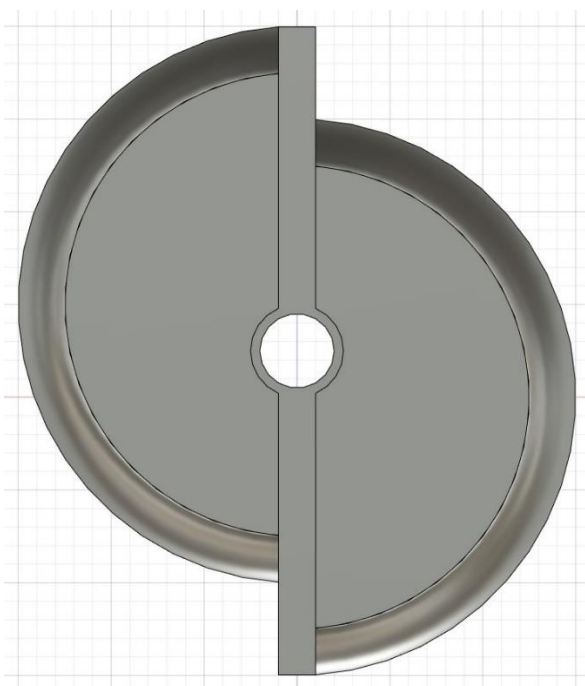


Рис. 29

5.17.3D модель предложенной гидротурбины (вид сзади) (Рис. 30).

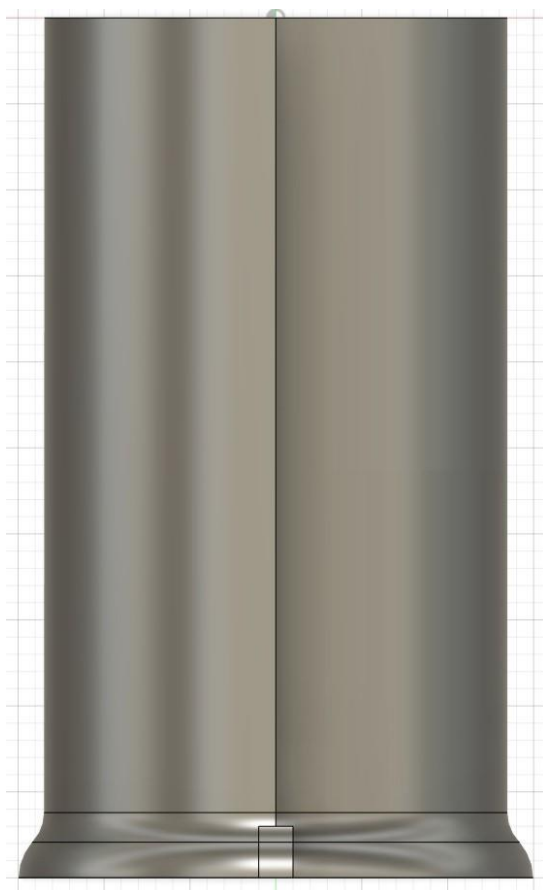


Рис. 30

5.18.3D модель предложенной гидротурбины (вид сзади) (Рис. 31).

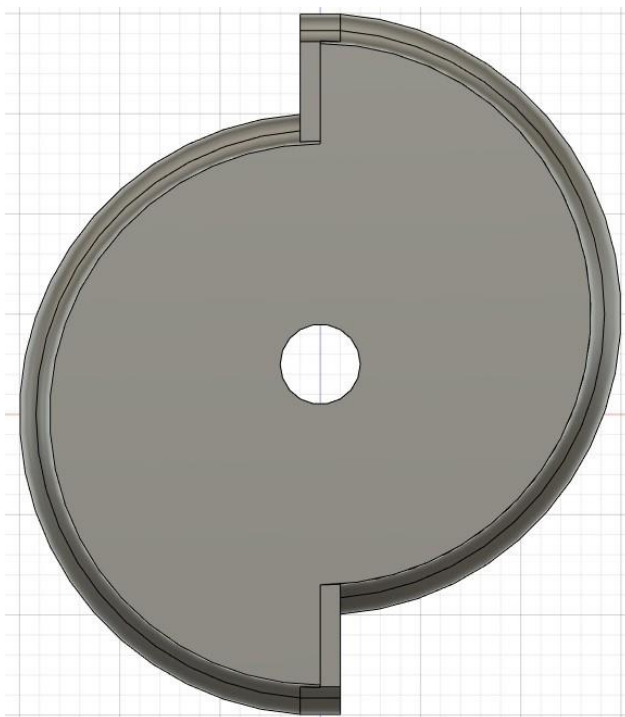


Рис. 31

5.19. Рендер 3д модели испытательной установки (Рис. 32; Рис. 33; Рис. 34)
(Рендер – обработанная фотография 3д модели с постановкой света, теней, типа материала (металл, пластик и т.п.))

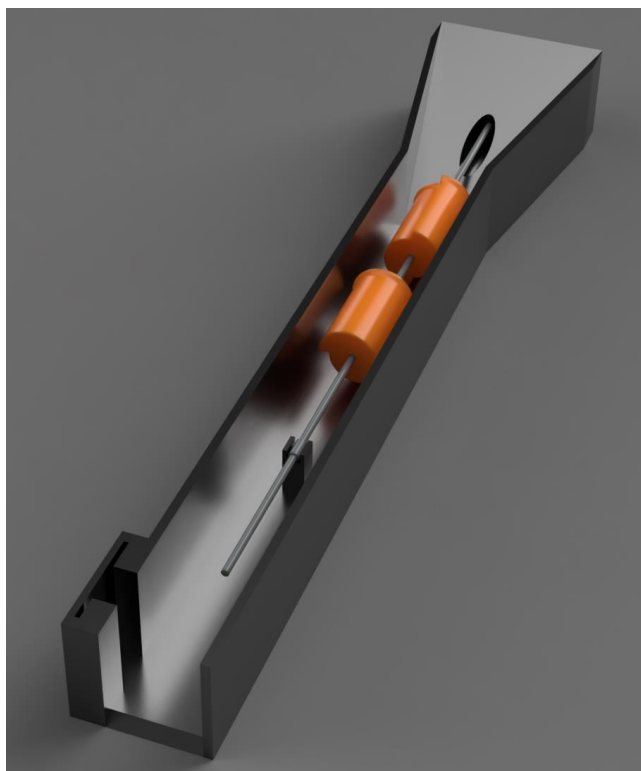


Рис. 32

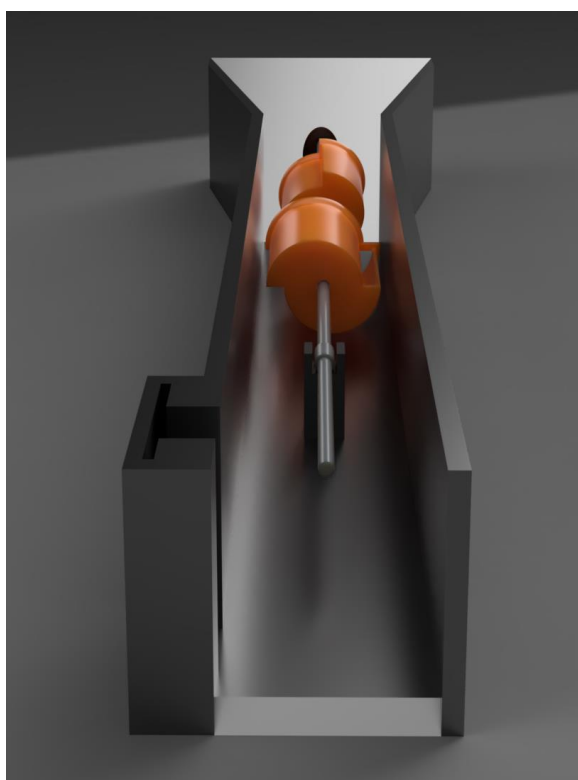


Рис. 33



Рис. 34