

Исследовательский проект по направлению: современная энергетика

МикроГЭС

для получения энергии дождя

Автор работы:

Немирова В.В., 11 класс

ЧУОО СШ «Знайка»

Научный руководитель:

Веретенников С.В.

к.т.н., доцент

РГАТУ им. П.А. Соловьева

Место выполнения исследовательской работы: РГАТУ им. П.А. Соловьева,

кафедра общей и технической физики

Рыбинск 2024

## Содержание

Введение .....	3
1.1. Малая гидроэнергетика .....	5
1.2. Статистические данные о количестве осадков.....	6
1.3. Исходные данные для разработки .....	6
1.4. Определение потенциала использования собранной дождевой воды для выработки электрической энергии .....	6
1.5. Определение технических характеристик колеса гидротурбины и электродвигателя.....	7
2.1. Создание модели колеса гидротурбины .....	8
2.2. Экспериментальный стенд для проведения испытаний.....	9
2.3. Проведение испытаний .....	9
2.4. Анализ результатов испытаний .....	10
2.5. Ценообразование.....	10
2.6. Сравнение с аналогами.....	10
2.7. Заключение .....	10
Список используемых источников .....	11

## Введение

В настоящее время чистая энергетика является очень востребованной. В связи с постоянным повышением цен на топливные ресурсы и ухудшающейся экологической обстановкой, с каждым годом растет спрос на чистые и недорогие источники энергии. Одним из самых экономически выгодных направлений в энергетике является получение энергии из природных явлений окружающей среды.

К экологически чистым источникам энергии относят энергию ветра, солнца, движущейся воды, тепло земли, а также энергию биомассы. Такие источники энергии никогда не иссякнут, так как являются возобновляемыми, то есть можно говорить о том, что они обладают неисчерпаемым сроком службы.

Для ветрогенератора важна высокая средняя скорость ветра – от 4,5 м/с и выше. В Ярославской области средняя скорость ветра составляет 2-3 м/с, что ниже порогового значения. Наиболее перспективными в ветроэнергетическом отношении районами России являются территории, прилегающие к побережью северных и дальневосточных морей, побережья Азовского и Черного морей, предгорья Кавказа.

Солнечные батареи являются достаточно дорогим источником энергии и обладают существенным недостатком – они работают только в ясную погоду.

Необходимо разработать экономичный метод получения энергии в пасмурную погоду. Одним из таких методов является получение энергии за счет течения дождевой воды в водосточных трубах. Во время дождя на землю падают огромные объемы воды, на крышах зданий скапливается количество воды, достаточное для приведения в действие небольшой гидравлической турбины, установленной в водосточной трубе. Целесообразно устанавливать такие турбины в самом низу водосточных труб, так как там почти вся потенциальная энергия падающей с крыш зданий воды будет переходить в кинетическую. Чем выше будет высота здания, тем выше будет накопленная энергия.

Поскольку Ярославская область расположена в зоне достаточного увлажнения, где общее годовое количество осадков выше среднего значения по России, установка гидротурбин в водосточных трубах должна оказаться сопоставимой по мощности с солнечными батареями в солнечную погоду. Установив на крыше здания солнечные батареи, а в водосточных трубах гидротурбины, можно получать чистую энергию и в солнечную, и в пасмурную погоду.

На сегодняшний день более миллиарда человек по всему миру не имеет доступа к электричеству. В удаленной местности с низкой плотностью населения сооружение государственных сетей часто требует не только больших затрат, но и просто технически

затруднено или неосуществимо. Предлагаемое решение в виде автономной системы обеспечения безопасной, чистой и возобновляемой энергией, может применяться не только в частных домовладениях Ярославской области, но и в любой отдаленной территории, расположенной в зоне достаточного увлажнения.

Реализация данного проекта, в отличие от большинства современных инновационных решений для повышения энергоэффективности, не требует крупных вложений.

**Гипотеза проекта:** возможно создать экономичную гидротурбину для выработки электроэнергии путем преобразования энергии падающей с крыши воды.

**Цель проекта:** повышение экономичности энергоснабжения в частном домовладении за счет использования энергии дождевых сточных вод.

В соответствии с целью были сформулированы следующие **задачи:**

1. Изучить научную литературу по теме исследования, дать определение понятия «малая гидроэнергетика»;
2. Определить целесообразность применения микроГЭС на территории Ярославской области;
3. Определить потенциал использования собранной дождевой воды для выработки электрической энергии;
4. Определить технические характеристики колеса гидротурбины и электродвигателя;
5. Разработать 3D модель колеса гидротурбины и напечатать опытные образцы на 3D принтере;
6. Создать экспериментальный стенд для проведения испытаний;
7. Провести испытания, выбрать гидротурбину с лучшими показателями;
8. Сравнить полученный продукт с аналогами;
9. Рассчитать стоимость продукта;
10. Сформулировать выводы по результатам исследования.

Решение поставленных задач осуществлялось следующими методами исследования: анализ и синтез, обобщение, моделирование, эксперимент.

**Объектом исследования** проекта является геометрия проточной части гидротурбины и движение воды в ней.

**Предметом исследования** является закономерность изменения гидродинамических характеристик гидротурбины от вариации формы ее проточной части.

**Продукт проекта** – гидротурбина для установки в водосточной трубе.

**Практическая значимость** работы состоит в разработке миниГЭС, обеспечивающей возможность получения чистой и дешевой электроэнергии в частном доме.

## Глава 1. Исследовательский этап

### 1.1. Малая гидроэнергетика

В соответствии с ГОСТ Р 51238-98 «Нетрадиционная энергетика. Гидроэнергетика малая. Термины и определения», малая гидроэнергетика - составная часть гидроэнергетики, связанная с использованием энергии водных ресурсов и гидравлических систем при помощи гидроэнергетических установок малой мощности.

К источникам ресурсов малой энергетики относят естественные и искусственные водотоки, водохранилища, озера и пруды, водохозяйственные или гидравлические системы разного назначения, а также другие малые водные потоки, потенциал которых может быть использован для получения электрической энергии при помощи установок малой мощности.

Одним из достоинств малой гидроэнергетики можно считать относительно небольшой объем инвестиций, короткий срок строительства, минимальное воздействие на окружающую среду, надежность электроснабжения и близость к потребителю.

В Таблице 1.1 Приложения 1 приведена классификация объектов малой гидроэнергетики. Вырабатываемая ГЭС мощность определяется сочетанием двух факторов. Первый фактор – это напор воды, поступающий на лопасти гидротурбины, которая приводит в действие вырабатывающий электроэнергию генератор. Второй фактор – это расход, то есть объем воды, проходящий через турбину за 1 секунду. Расход является определяющим фактором при отнесении ГЭС к определенному типу.

Основная задача проекта - получение электрической энергии для частного домовладения за счет течения дождевой воды в водосточной трубе. Поскольку речь идет об использовании энергии водного потока, расход которого не превысит  $0,4 \text{ м}^3/\text{с}$ , установленная мощность не превысит 100 кВт, можно говорить о том, что целью работы является разработка микроГЭС.

МикроГЭС предназначена для преобразования гидравлической энергии потока жидкости в электрическую для дальнейшей передачи сгенерированной электроэнергии в энергосистему.

Принцип работы микроГЭС не отличается от принципа работы станций большой мощности. Вода под действием напора, создаваемого своей массой, перемещается в заданном направлении и поступает на лопасти гидравлической турбины. Турбина передает свое вращательное движение на вращательное движение генератора, который вырабатывает электрический ток. Напор воды создается путем строительства плотины или естественным

течением воды, либо обоими способами одновременно. Принципиальная схема ГЭС приведена на Рисунке 1.1 Приложения 1.

## **1.2. Статистические данные о количестве осадков**

Рыбинск расположен в зоне достаточного увлажнения. Среднегодовое количество осадков за 5 лет (2019-2023гг.) составляет 744 мм в год [8], что выше среднего значения по России (Рисунок 2.1 Приложения 2).

На графике, отражающем среднюю температуру в Рыбинске по месяцам (Рисунок 2.2 Приложения 2), мы видим, что для работы микроГЭС осадки в виде дождя можно использовать с апреля по октябрь, так как в эти месяцы средняя дневная температура повышается до плюсовых значений. Наибольшее количество осадков выпадает с июля по октябрь. Среднее значение осадков, выпадающих за неделю в Рыбинске в период с апреля по октябрь, составляет 19 мм (Рисунок 2.3 Приложения 2).

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что Ярославская область является благоприятной для применения микроГЭС для получения энергии дождя.

## **1.3. Исходные данные для разработки**

Реализацию проекта мы рассматриваем на примере индивидуального двухэтажного жилого дома со следующими параметрами: длина 10 метров, ширина 10 метров; высота первого этажа 2,5 метра; высота аттиковой стены 1,5 метра.

Элементы водостока крыши такого дома будут иметь следующие размеры: высота водосточной трубы 4 м, диаметр устанавливаемых труб – 0,1 м.

### **1.4. Определение потенциала использования собранной дождевой воды для выработки электрической энергии**

Площадь крыши рассматриваемого дома составит:  $S_k = 10 * 10 = 100 \text{ м}^2$ .

Средний объем осадков в неделю для климатического региона г. Рыбинска составляет  $q = 19$  мм осадков на  $1 \text{ м}^2$ . Таким образом, потенциальный объем воды, который можно собрать с использованием водосточной системы крыши за неделю ( $V$ ), в среднем составит:

$$V = S_k * q = 100 * 19 / 1000 = 1.9 \text{ м}^3 \quad [5]$$

Определим потенциальную энергию запасенного объема воды. В предлагаемой системе аккумуляция объема воды будет происходить в резервуарах, распределенных по периметру крыши. Высота этих резервуаров над поверхностью земли для двухэтажного

дома с высотой первого этажа 2,5 метра и высотой аттиковой стены 1,5 метра, составит  $H=4$  метра. Таким образом потенциальная энергия воды, запасенной за неделю, будет равна

$$E_{п}=m \cdot g \cdot H \quad [5],$$

где  $g=9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения,

$m$  – масса запасенной воды, определяемая по формуле  $m=V \cdot \rho$ , где  $\rho$  – плотность воды, равная  $1000 \text{ кг/м}^3$

$$E_{п}=V \cdot \rho \cdot g \cdot H = 1,9 \cdot 1000 \cdot 9,8 \cdot 4 = 74,5 \text{ кДж.}$$

Для определения потенциальной вырабатываемой мощности необходимо определить период, в течение которого произойдет полное опорожнение бака-накопителя за счет истечения струи воды, попадающей на колесо гидротурбины и вызывающей её вращение. Найдем теоретическую скорость истечения струи по формуле Торричелли:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 4} = 8,8 \text{ м/с}$$

Далее проанализируем зависимость времени опорожнения резервуара с водой при варьировании диаметра отверстия, через которое истекает струя. Эта зависимость выражается из уравнения расхода для жидкости:

$$Q = v \cdot F = v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [5],$$

где  $Q=V/\tau$  – объемный расход воды через отверстие, численно равный объему воды, протекающему через отверстие за 1 секунду. Учитывая, что полный объем бака составляет  $1,9 \text{ м}^3$ , определим время опорожнения бака накопителя дождевой воды при различных диаметрах отверстия. Также рассчитаем потенциальную мощность, которую можно выработать на гидротурбине в результате опорожнения всего резервуара с водой:

$$N = E_{п} \cdot \tau \quad [5]$$

Результаты расчетов приведены в Таблице 3.1 Приложения 3.

### **1.5. Определение технических характеристик колеса гидротурбины и электродвигателя**

Определим крутящий момент, который будет создавать струя воды при соударении с лопатками колеса гидротурбины. Он будет зависеть от силы удара струи и радиуса колеса:

$$M=F \cdot R,$$

где  $M$  – момент силы,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;

$F$  – сила воздействия струи,  $\text{Н}$ ;

$R$  – радиус гидроколеса  $0,04 \text{ м}$ .

Силу воздействия потока на поверхность лопаток определим по 2 закону Ньютона:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta \tau} = m \frac{\Delta v}{\Delta \tau} = G \Delta v = \rho Q \Delta v \quad [6],$$

где  $\Delta p = m \Delta v$  – изменение импульса струи за промежуток времени  $\Delta \tau$ ,

$G = \frac{m}{\Delta \tau}$  - массовый расход воды в струе, кг/с, он равен  $G = \rho Q$ ,

$\Delta v$  – изменение скорости в процессе соударения струи с поверхностью лопатки. В идеальном случае абсолютно упругого удара это изменение равно удвоенной скорости струи. В наихудшем варианте удар струи о поверхность будет сопровождаться распадом струи на мелкие капли и в этом случае изменение скорости будет равно начальной скорости струи.

Таким образом, создаваемый крутящий момент  $M$  (Н\*м) на валу электрогенератора будет равен:

$$M = \rho Q \Delta v R \quad [6]$$

Мощность на валу электрогенератора будет зависеть от частоты вращения:

$$N = M \cdot \omega = M \cdot 2\pi \cdot n/60, \quad [6]$$

где  $n$  – частота вращения электрогенератора, об/мин.

Зная потенциальную вырабатываемую мощность  $N$  и рассчитав крутящий момент при различных диаметрах струи, получим значения частоты вращения колеса гидротурбины. Для случая абсолютно упругого удара она составит 532 об/мин, для случая абсолютно неупругого удара она составит 19 об/мин (Рисунок 4.1 Приложения 4).

На основании полученных расчетных данных был подобран электрогенератор для проведения последующих экспериментов (Таблица 4.2 Приложения 4).

## Глава 2. Экспериментальный этап

### 2.1. Создание модели колеса гидротурбины

В настоящее время нашли распространение три основные системы турбин: осевые, поворотно-лопастные и ковшовые. Для создания модели была выбрана турбина с лопатками в виде ковшей. Главное преимущество ковшовых турбин в нашем случае – возможность вертикальной установки, работы на высоких напорах и небольших расходах воды.



Рабочее колесо ковшовой турбины представляет собой диск, по ободу которого равномерно расположены ковши. В нашей модели колеса лопатки уведены от диска для того, чтобы генератор не мешал их вращению.

Диаметр рабочего колеса турбины является основным параметром, определяющим при заданных напоре и пропускной способности мощность и массу турбины. По результатам проведенных испытаний оптимальный радиус колеса турбины составил 0,04 м. Угол установки лопастей  $90^{\circ}$ .

В Приложении 4 на рисунках 4.2 и 4.3 приведен результат моделирования рабочего колеса гидротурбины.

## **2.2. Экспериментальный стенд для проведения испытаний**

Установка для проведения испытаний состоит из:

- вертикально расположенной пластиковой трубы высотой 1 м, в отходнике которой просверлено отверстие 6 мм (диаметр струи);
- шланга для наполнения трубы водой;
- штатива, на котором с помощью лапки неподвижно закреплен генератор (Рисунок 4.4 Приложения 4). На валу генератора с помощью гайки закреплено рабочее колесо гидротурбины (Рисунок 4.5 Приложения 4);
- мультиметра, закрепленного на вершине штатива для измерения напряжения, вырабатываемого турбиной;
- ванной, в которой будет стоять эта конструкция.

## **2.3. Проведение испытаний**

Испытания проводились в учебной лаборатории РГАТУ им. П.А. Соловьева. Был собран экспериментальный стенд (Рисунок 6.1 Приложения 6).

На штатив крепится лапка, с помощью которой держится двигатель. На крутящий вал насажена турбина, закрепленная с внешней стороны гайкой. К проводам, выходящим из генератора, подключен мультиметр, с целью измерения напряжения, вырабатываемого рабочим телом. Сам мультиметр для удобства поставлен на лапку. Далее требуется подстроить ось лопатки под вытекающую из сопла струю. Для максимальной скорости нужно установить так, чтобы струя попадала ровно в центр ковша. Затем, с помощью шланга, набираем воду до максимальной высоты (у нас это 1 метр) в трубу, при этом

закрываем сопло. Теперь можно включить мультиметр, открыть сопло и измерить напряжение, вырабатываемое турбиной (Рисунок 6.2 Приложения 6).

## **2.4. Анализ результатов испытаний**

Испытания проводились с несколькими моделями рабочих колес. Наибольшее значение напряжения - до 2,7 В удалось получить при радиусе колеса турбины 0,04 м, с углом установки лопастей  $90^0$  (результаты испытаний приведены в Таблице 6.1 Приложения 6).

## **2.5. Ценообразование**

В Таблице 6.2 Приложения 6 приведена стоимость комплектующих разработанной гидротурбины.

## **2.6. Сравнение с аналогами**

В Таблице 7.1 Приложения 7 приведена сравнительная таблица продукта проекта с аналогами. Рассмотрев рынок, можно заметить, что в настоящее время трудно подобрать микроГЭС для физического лица, которая будет удовлетворять и по стоимости, и по сроку службы. Чаще продают большие ГЭС, которые нужно устанавливать в водоем, а с этим могут возникнуть трудности, т.к. это уже не частная собственность и полученную энергию можно будет лишь разделить между хозяевами частных домов, что тоже не всегда выгодно.

## **2.7. Заключение**

На основании проведенных исследований можно сказать, что моя микроГЭС небольшой мощности, поэтому ее сложно применить для ежедневного пользования, но она подходит для накопления выработанной энергии на сторонний аккумулятор. Возможности лаборатории не позволили испытать микроГЭС в реальных условиях. При установке турбины на дом показатели будут выше в разы, так как увеличится высота столба жидкости, что и позволит получать энергию, которой хватит на малозатратные потребности.

У моего продукта есть свои преимущества: в случае поломки можно изготовить новую модель, это обойдется дешевле, чем покупать новую микроГЭС в интернете; также достаточно легко установить данную конструкцию у себя дома, она не требует высокого давления и сильного напора воды, что показывает удобство в использовании.

В дальнейшем я планирую довести продукт до идеала и испытать его в жизни.

## Список используемых источников

1. ГОСТ Р 51238-98 «Нетрадиционная энергетика. Гидроэнергетика малая. Термины и определения»
2. Потапов В.М., Ткаченко П.Е., Юшманов О.Л. Использование водной энергии, «Колос», М., 1972
3. Соколов Д.Я. Использование водной энергии. «Колос», М., 1969
4. Беляков Ю.П., Рахимов К.Р. «Энергетические ресурсы Киргизстана и их освоение», Ф. Киргиз ИНТИ. 1985
5. Пeryшкин А.В. «Физика 7 класс», «Дрофа», 2012
6. Пeryшкин А.В., Гутник Е.М. «Физика 9 класс», «Дрофа», 2014
7. Веб-сайт <https://triptonkosti.ru/19-foto/tehnologicheskaya-shema-ges.html>
8. Веб-сайт [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru)
9. Веб-сайт <https://rushydro.ru>
10. Веб-сайт <https://korung.rushydro.ru>

Таблица 1.1 – Классификация объектов малой гидроэнергетики по мощности

Наименование	Установленная мощность	Расход	Диаметр рабочего колеса
МикроГЭС	до 100 кВт	$< 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$	$< 0,3 \text{ м}$
МиниГЭС	100-1000 кВт	$0,4-12,8 \text{ м}^3/\text{с}$	$0,3-0,8 \text{ м}$
Малая ГЭС	1-30 МВт	$> 12,8 \text{ м}^3/\text{с}$	$> 0,8 \text{ м}$

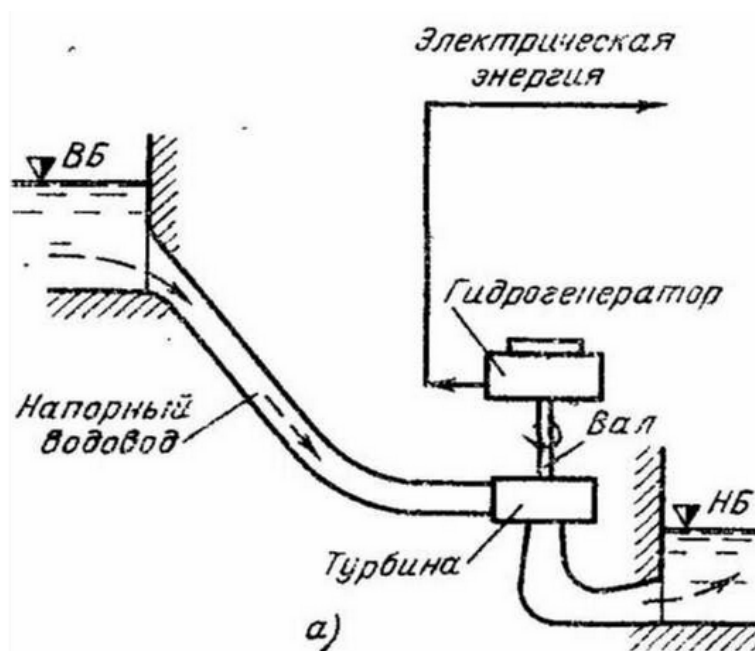


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема ГЭС

Статистические данные о количестве осадков в г. Рыбинске

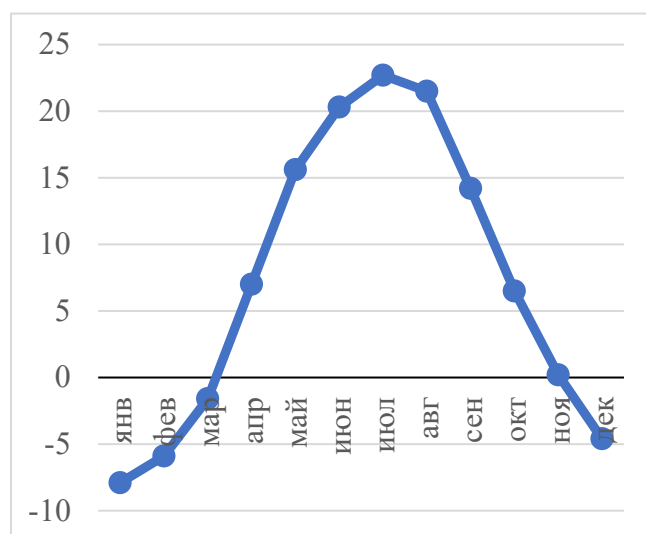
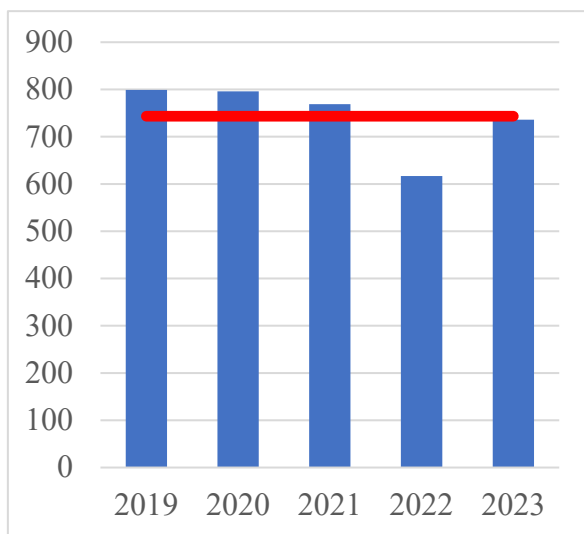


Рисунок 2.1 – Годовые суммы выпавших осадков в г. Рыбинске за период 2019-2023гг., мм

Рисунок 2.2 – Средняя температура днем в г. Рыбинске

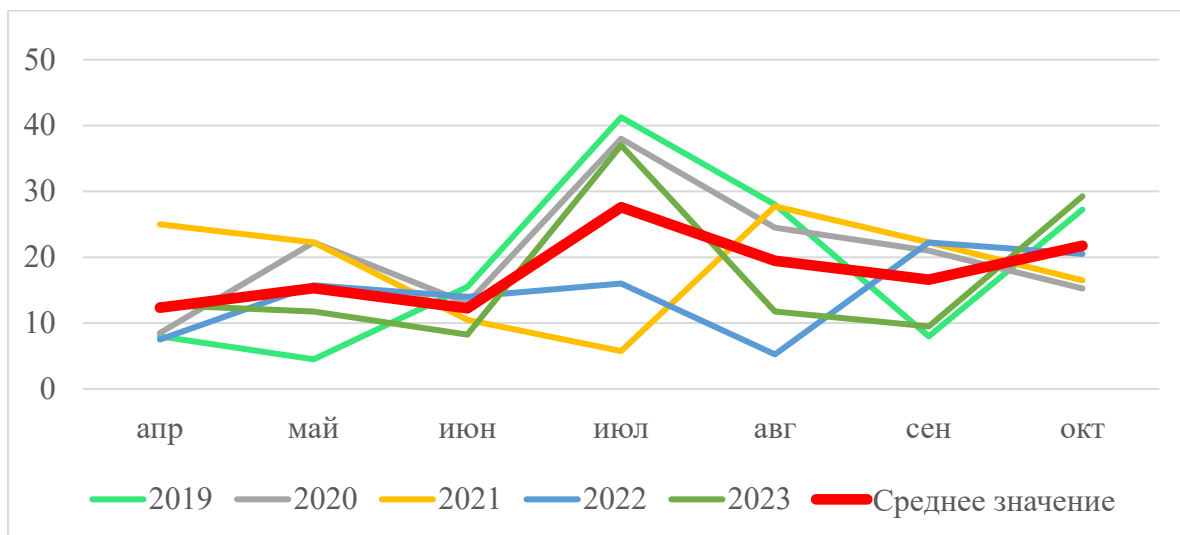


Рисунок 2.3 – Средние значения выпавших за неделю осадков в г. Рыбинске (апрель - октябрь) за период 2019-2023 гг., мм

Таблица 3.1 – Зависимость времени опорожнения резервуара с водой от диаметра отверстия

Диаметр отверстия = диаметр вытекающей струи, м	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,008	0,01
Объем вытекающей воды за 1 с, Q м <sup>3</sup> /с	0,000 007	0,000 028	0,000 062	0,000 111	0,000 173	0,000 249	0,000 442	0,000 691
Время опорожнения резервуара τ, мин	76,4	19,1	8,5	4,8	3,1	2,1	1,2	0,8
Потенциальная мощность запасенной энергии воды N, Вт	0,3	1,1	2,4	4,3	6,8	9,8	17,3	27,1

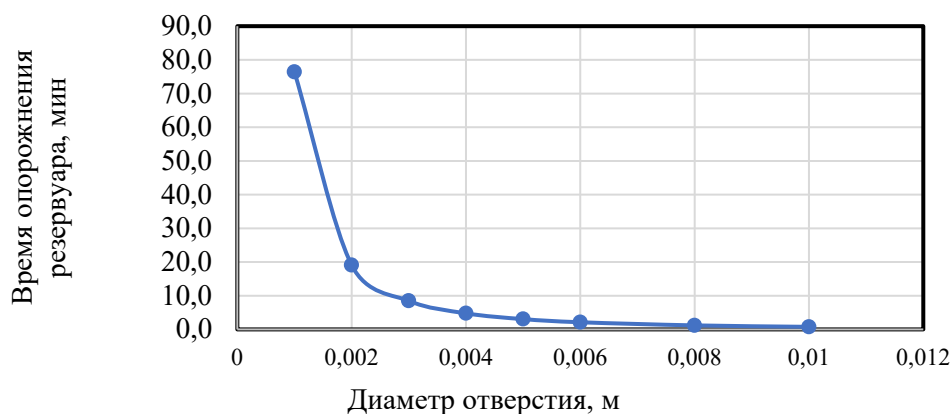


Рисунок 3.1 – Зависимость времени опорожнения резервуара с водой от диаметра отверстия

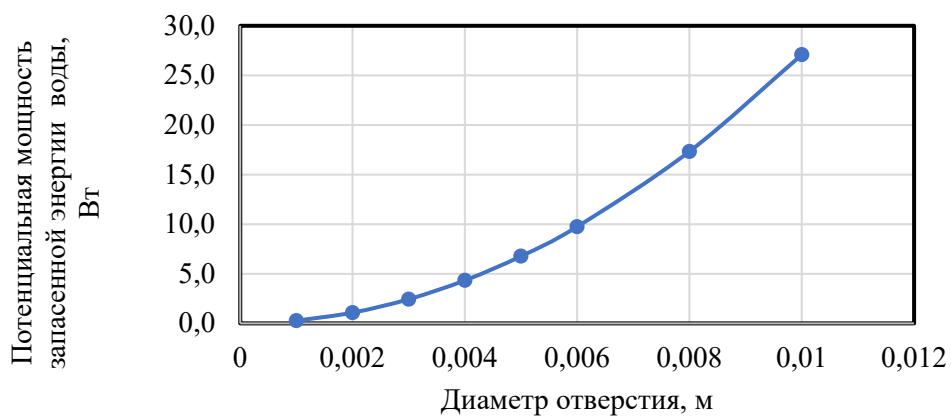


Рисунок 3.2 – Зависимость потенциальной мощности запасенной воды от диаметра отверстия

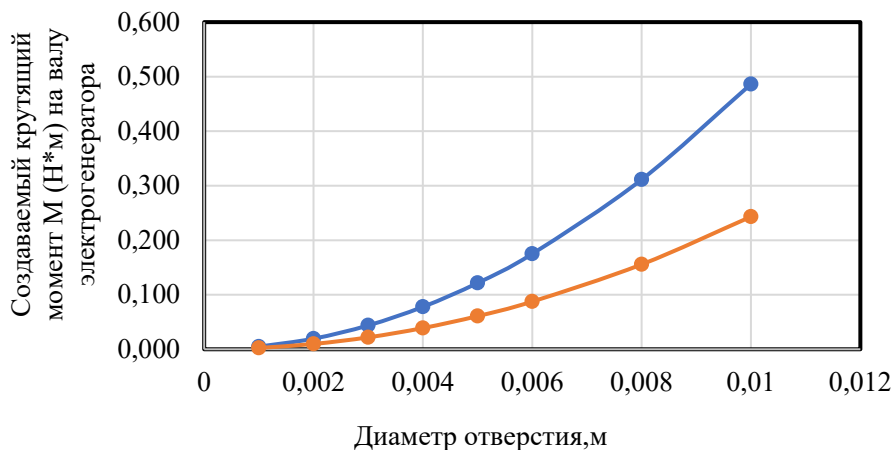
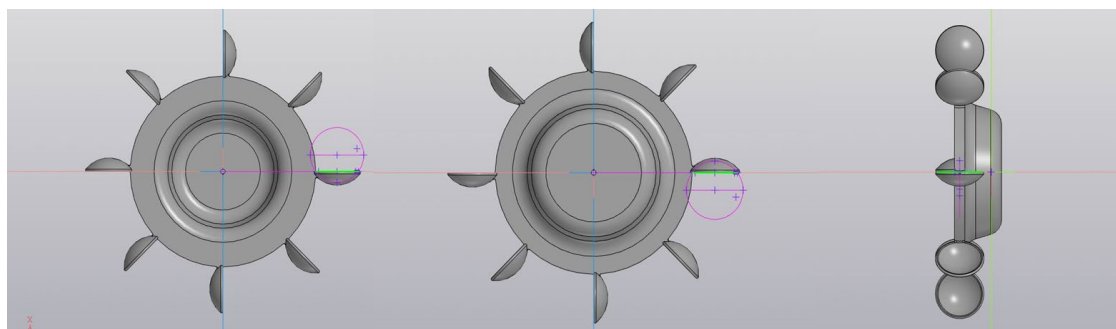


Рисунок 4.1 – Зависимость крутящего момента на валу электрогенератора от диаметра отверстия

Таблица 4.2 – Основные характеристики генератора

Номинальное напряжение, В	2,7
Номинальная мощность, Вт	4,31
Частота вращения, об/мин	6000
Номинальный вращающий момент, мН*м	6,86
Пусковой момент, мН*м	24,6



а) вид спереди

б) вид сзади

в) вид сбоку

Рисунок 4.2 – 3D модель рабочего колеса гидротурбины в программе Компас-3D



Рисунок 4.3 – Модель рабочего колеса гидротурбины, распечатанная на 3D принтере

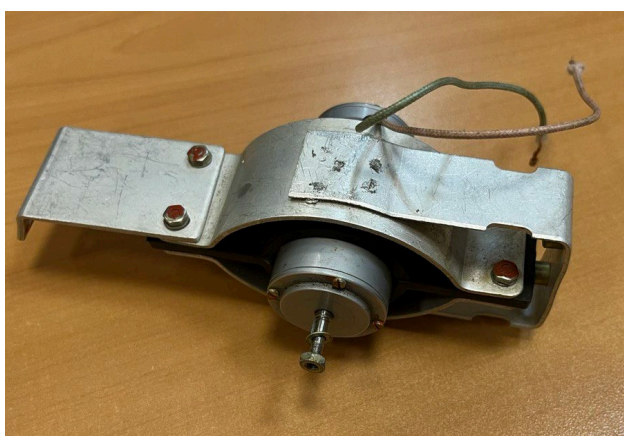


Рисунок 4.4 – Генератор



Рисунок 4.5 – Крепление рабочего колеса гидротурбины на двигатель





Рисунок 6.1 – Экспериментальный стенд



Рисунок 6.2 – QR-код – ссылка на видео испытаний микроГЭС

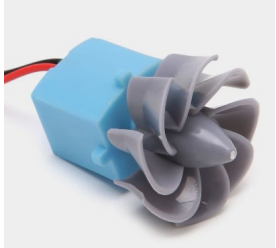



Таблица 6.1 - Результаты испытаний

	№1	№2	№3
Диаметр отверстия = диаметр вытекающей струи, м	0,0035	0,005	0,006
Радиус колеса турбины, м	0,04	0,04	0,04
Объем вытекающей воды за 1 с, Q м <sup>3</sup> /с	3,9*10 <sup>-5</sup>	4,9*10 <sup>-5</sup>	7,5*10 <sup>-5</sup>
Время опорожнения резервуара τ, ч	5,1	2,53	1,5
Максимальное напряжение, В	2,0	2,4	2,7

Таблица 6.2 - Ценообразование

Название	Требуемое количество	Цена, руб.
Пластик для изготовления колеса на 3D принтере	50 гр.	55
Двигатель	1 шт.	523
Гайка	1 шт.	20
Итого:		598

Таблица 7.1 - Сравнение продукта проекта с аналогами

Наименование	Вид	Источник	Характеристики	Стоимость
Ветрогенератор (можно использовать для получения энергии воды, благодаря форме лопаток)		<a href="https://aliexpress.ru/item/1005003169827643.html?sku_id=12000024472799134&amp;spm=a2g2w.productlist.search_results.3.55dd3245px1WO4">https://aliexpress.ru/item/1005003169827643.html?sku_id=12000024472799134&amp;spm=a2g2w.productlist.search_results.3.55dd3245px1WO4</a>	Напряжение: 0,01-15 В Ток: 1 мА	330 рублей
МикроГЭС		<a href="https://www.avito.ru/voronezh/bytovaya_tehnika/mikroges_50_vt_3222737837?location=621540">https://www.avito.ru/voronezh/bytovaya_tehnika/mikroges_50_vt_3222737837?location=621540</a>	Вес: 13.35 кг Мощность: 250 Вт	36 000 рублей
МикроГЭС		<a href="https://ru.made-in-china.com/co_forwardhydro/product_Mini-Hydropower-Turbine-Generator_uorserosg.html">https://ru.made-in-china.com/co_forwardhydro/product_Mini-Hydropower-Turbine-Generator_uorserosg.html</a>	Напряжение: 110-400 В Мощность: 3-50 кВт	От 82 485 рублей
МикроГЭС		<a href="https://www.ozon.ru/product/generator-elektrostantsiya-500w-mikro-ges-110v-minihidro-ges-1310453662/">https://www.ozon.ru/product/generator-elektrostantsiya-500w-mikro-ges-110v-minihidro-ges-1310453662/</a>	Мощность: 500 Вт Вес: 2,5 кг	25 000 рублей