

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К. И. Сатпаева

Институт Архитектуры, строительства и энергетики им. Т.К. Басенова

Кафедра "Инженерные системы и сети"

Мунарова З.Ф.

Обоснование конструкции и параметров мини - ГЭС  
гидроциклонного типа

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В080500 - Водные ресурсы и водопользование

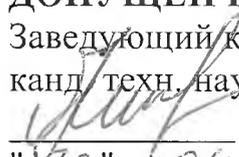
Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К. И. Сатпаева

Институт Архитектуры, строительства и энергетики им. Т.К. Басенова

Кафедра "Инженерные системы и сети"

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой ИС и С  
канд. техн. наук, ассоц.проф.  
 Алимова К.К.  
"30" 04 2019 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему : " Обоснование конструкции и параметров мини - ГЭС  
гидроциклонного типа"

по специальности 5В080500 - Водные ресурсы и водопользование

Выполнила

Мунарова З.Ф.

Научный руководитель  
д-р техн. наук, проф.

 Қасымбеков Ж.Қ.  
«30» 04 2019 г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К. И. Сатпаева

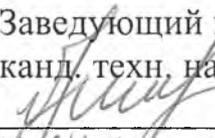
Институт Архитектуры, строительства и энергетики им. Т.К. Басенова

Кафедра "Инженерные системы и сети"

5B080500 - Водные ресурсы и водопользование

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ИС и С  
канд. техн. наук, ассоц. проф.

  
Алимова К.К.  
"04" / "03" 2019 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

Обучающейся Мунаровой Зумрат Фархатовне

Тема: «Обоснование конструкции и параметров мини - ГЭС гидроциклонного типа»

Утверждена приказом Ректора Университета №1210-б от "30" 10. 2018 г.

Срок сдачи законченной работы: "30" апреля 2019 г.

Исходные данные к дипломной работе: Параметры существующего лабораторного стенда мини – ГЭС кафедры ИСиС, напряжение вырабатываемого тока 0,3-0,4 Вт

Краткое содержание дипломной работы:

а) Основная часть

б) Расчет основных параметров мини – гидроэлектростанции гидроциклонного типа

Перечень графического материала ( с точным указанием обязательных чертежей) : представлены 14 слайдов презентации работы

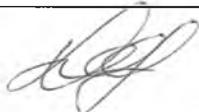
Рекомендуемая основная литература: из 11 наименований

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Основной раздел	12.02.2019-15.04.2019	выполнено
Расчет основных параметров мини - гидроэлектростанции гидроциклонного типа	15.04.2019-30.04.2019	выполнено

**Подписи**

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Расчет основных параметров мини - гидроэлектростанции гидроциклонного типа	Ж.К. Қасымбеков, д-р техн.наук, профессор		15.04.2019
Нормоконтролер	А.Н. Хойшиев, канд.техн.наук., лектор		06.04.2019

Научный руководитель \_\_\_\_\_



Қасымбеков Ж.К.

Задание приняла к исполнению, обучающаяся \_\_\_\_\_



Мунарова З.Ф.

Дата

« 12 »  2019 г.

## **АНДАТПА**

Қарастырылған дипломдық жұмыста гидроэлектрстанциясының параметрлерін және құрылысын негіздеуге байланысты гидроциклонның жұмысының толық сипаттамасы беріледі. Осындай энергияны үнемдейтін технологияларды дамыту, конструктивтік шешімдер қоршаған ортаның энергетикалық және экологиялық жағдайын жақсартады. Гидравликалық блоктың тұрақты жұмыс істеу режиміне және онымен бірге жүретін негізгі компоненттерге арнайы аялдамаларсыз қол жеткізу электр энергиясының жоғалуын 15-20 пайызға дейін азайтуға мүмкіндік береді. Жұмыстың мақсаты тазарту схемасына гидроциклді енгізу арқылы жүйені жетілдіру болып табылады. Гидроэлектрстанцияларды жобалауды жеңілдетуден басқа, су тазарту дәрежесі артып, су тазарту қондырғысының құрылысы құны да арта түсті.

## **АННОТАЦИЯ**

Данная дипломная работа дает подробное описание работы мини - гидроэлектростанции гидроциклонного типа за счет обоснования параметров и конструкции. Разработка подобных энергосберегающих технологий, конструктивных решений улучшает энергетическое и экологическое состояние прилежащих районов. Достижения устойчивого режима работы гидроагрегата и сопутствующих к нему основных узлов без особых остановок способствует снижению потери в подаче электроэнергии до 15-20 процентов. Цель работы заключается в усовершенствовании системы, путем введения в схему очистки гидроциклона. Выявлено, что помимо упрощения конструкции гидроэлектростанции, повышается степень очистки воды, а также снижаются затраты на строительство узла водоочистки.

## **ABSTRACT**

This diploma work gives a detailed description of the work of a mini-hydroelectric hydrocyclone type due to the justification of the parameters and design. The development of such energy-saving technologies, constructive solutions improves the energy and environmental condition of the surrounding areas. Achievement of a stable mode of operation of the hydraulic unit and the main components accompanying it without special stops contributes to reducing the loss of electricity supply by up to 15-20 percent. The purpose of the work is to improve the system by introducing a hydrocyclone into the purification scheme. It was revealed that in addition to simplifying the design of a hydroelectric power station, the degree of water purification increases, as well as the cost of building a water treatment unit.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	7
1 Основной раздел	
1.1 Описание рассматриваемой конструкции и особенности ее технического решения	8
1.2 Обоснование компоновки гидротурбины в гидроциклонном корпусе путем компьютерного моделирования	10
1.3 Результаты доработки лабораторного стенда и приемочных испытаний	13
2 Расчет основных параметров мини - гидроэлектростанции гидроциклонного типа	
2.1 Рекомендации по расчету гидроциклонной части мини - гидроэлектростанции	17
2.2 Рекомендации по расчету турбинно-генераторной части мини-гидроэлектростанции	21
2.3 Результаты изучения рабочей характеристики гидротурбины с генератором	24
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	29
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	30
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	31

## ВВЕДЕНИЕ

Современная гидроэнергетика, по сравнению с другими традиционными видами электроэнергетики, является наиболее экономичным и экологически безопасным способом получения электроэнергии. Малая гидроэнергетика идет в этом направлении еще дальше. Небольшие электростанции позволяют сохранять природный ландшафт, окружающую среду не только на этапе эксплуатации, но и в процессе строительства. При последующей эксплуатации отсутствует отрицательное влияние на качество воды: она полностью сохраняет первоначальные природные свойства. В реках сохраняется рыба, вода может использоваться для водоснабжения населения. Еще одно преимущество малой энергетики – экономичность. В условиях, когда природные источники энергии истощаются, постоянно дорожают, использование доступной, возобновляемой энергии рек, особенно малых рек, позволяет вырабатывать дешевую электроэнергию. К тому же, сооружение объектов малой гидроэнергетики характеризуется низкой затратностью и быстро окупается, отсутствуют проблемы, характерные для крупной гидроэнергетики (строительство сложных и дорогостоящих гидросооружений, затопление местности и т.п.).

Актуальность темы определяется современным состоянием развития энергетики, необходимостью наращивания мощностей путем реконструкции и модернизации ранее построенных энергоустановок, разработки энергосберегающих технологий, таких как гидроциклон, обеспечивающих повышение энергетической и экологической эффективности энергоустановок и снижающих антропогенное воздействие на природную среду в процессе производства электроэнергии и использования водных ресурсов.

Объект и предмет исследования: мини - гидроэлектростанции (ГЭС) гидроциклонного типа и расчеты по ней.

Цель дипломной работы заключается в том, что как можно подробней рассмотреть работу мини - ГЭС гидроциклонного типа, ее особенности. Для этого в самом начале работы поставлено несколько задач:

- 1) Дать описание рассматриваемой конструкции, обосновать компоновку гидротурбины;
- 2) Провести расчеты основных технологических параметров мини - гидроэлектростанции гидроциклонного типа;
- 3) Рассмотреть эффективность применения мини – гидроэлектростанции гидроциклонного типа.

## 1 Основной раздел

### 1.1 Описание рассматриваемой конструкции и особенности ее технического решения

Опыт эксплуатации большинства гидроэлектростанций из малой гидроэнергетики показал, что одним из основных моментов в использовании различных типоразмеров гидроэлектростанции является защита гидротурбин от абразивного износа и сохранение их рабочих параметров [1].

Для положительного решения указанного вопроса нами выполнен патентный поиск в этом направлении. Было подробно изучено изобретение под названием «ГЭС на спиральном потоке воды», содержащее водозабор от реки, трубопровод, разгонную емкость [2]. Она выполнена в виде спирального лотка, выходная часть которого проходит под дном входной части лотка со смещением. Перед выходом есть подвижный порог. Изобретение поставляет очищенную воду, создает возможность обеспечения потребителей индивидуальной энергетикой. Недостатком являются монорельсы. К турбине прикреплены лопатки. Они контактируют с водой. Это усложняет конструкцию и действия гидротурбины при изменении глубины водотока. Хотя, закрученный поток по спирали в некоторой степени разделяет твердые примеси от подаваемой воды, но непрерывный вынос их в отвал не предусмотрен.

Другое техническое решение - «Гравитационно-водоворотная станция» шведа Франца Цотлетрера. Она представляет собой подводящую систему водовода, кольцевой бассейн, в виде цилиндра, отводящую систему. Центральную часть занимают турбина с генератором [3]. При работе станции часть воды из реки тангенциально попадает в центральную воронку. Это способствует завихрению потока и вращению гидротурбины находящейся в центре воронки.

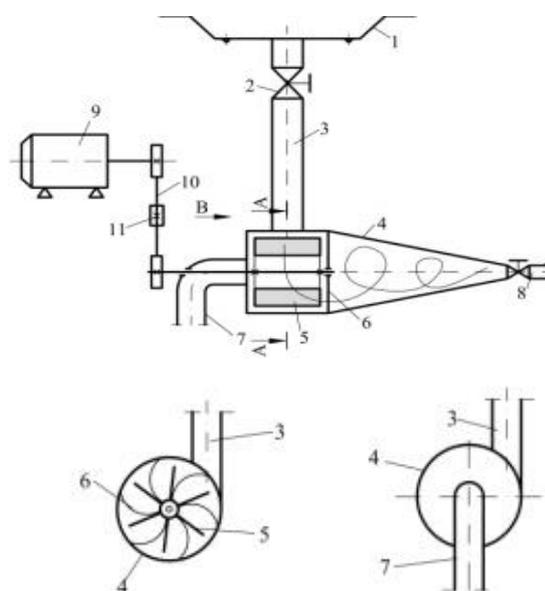
Для улавливания взвешенных твердых частиц гидроэлектростанции снабжены отстойниками. Основными недостатками гидроэлектростанции являются громоздкость сооружений, пассивность процессов по очистке воды, из-за осаждения механических примесей за счет собственного веса. Некачественная очистка воды приводит к преждевременной изношенности поверхности водоводов и турбин, значительному падению коэффициента полезного действия, следовательно, к снижению мощности и выработки электроэнергии.

Наиболее эффективным и близким по технической сущности к предполагаемому решению поставленного вопроса является «Циркуляционная мини - ГЭС» [4]. Изобретение состоит из водозабора, водовода, турбины и генератора. Однако, и у этого изобретения имеются недостатки. Выполнение водоприемного бассейна в виде цилиндра снижает его разделительную способность песка от поступающей воды, тем самым усложняет накопление и вынос улавливаемых механических примесей в отвал. Гидротурбина крепится

на крестовине. Ее наличие препятствует вращению потока внутри цилиндрического бассейна.

Сутью поставленной нами задачи является упрощение конструкции мини-ГЭС циркуляционного действия и при помощи вращательного эффекта в гидроциклоне обеспечить очистку воды от механических примесей, поступающей к рабочей гидротурбине. На рисунке 1.1 показана схема мини-ГЭС гидроциклонного типа.

Это техническое решение повышает работоспособность гидроагрегата, улучшая мощностную характеристику агрегата до 15-20 процентов. Степень очистки воды в гидроциклонах при работе в напорном режиме достигает 95-97 процентов. Простота конструкции ГЭС и технологической схемы компоновки снижает затраты на изготовления до 20 процентов.



1-аванкамера; 2-задвижка; 3- подводящий водовод; 4- гидроциклон –водоприемник;  
5- гидротурбина; 6- перегородка; 7- сливной патрубков; 8-песковое отверстие  
9-генератор; 10-ременная передача; 11- натяжное устройство.

Рисунок 1.1 - Схема мини - ГЭС гидроциклонного типа

Водоприемник станции выполнен в виде цилиндро-конической гидроциклонной капсулы. Внутри нее соосно расположена лопастная гидротурбина с меньшим диаметром. Гидротурбина прикреплена к капсуле при помощи несплошной перегородки из изогнутых пластин по направлению закрутки воды. Вода тангенциально подается в водоприемник. Поставленная нами цель достигнута.

Подобное техническое решение позволяет использовать мини - ГЭС в капсульном варианте, освоить гидроциклонный эффект для разделения твердой фазы от жидкости при водоснабжении гидротурбины.

Принцип работы таков. При пуске в работу вода из аванкамеры в гидроциклон - водоприемник тангенциально попадает через задвижку. В гидроциклоне расположена лопастная гидротурбина. При образовании

сильного вращательного движения поток воздействует на поверхность лопаток и вращает гидротурбину. Твердые частицы уносятся через песковое отверстие, а поток очищенной воды направляется по сливному патрубку.

Ременная передача передает вращение турбины генератору. Накопленные примеси за счет остаточного напора эжектируются в отвал по трубе. В случае колебаний уровня воды в реке возможно использование натяжного устройства, которое снабжено дополнительным колесом с пружиной [5].

## 1.2 Обоснование компоновки гидротурбины в гидроциклонном корпусе путем компьютерного моделирования

Как было сказано выше, составляющая всей системы является гидротурбина. Ее движению способствует тангенциальная подача воды. На рисунке 1.2 изображена компоновочная схема модели, которая использовалась в наших лабораторных исследованиях. Для выбора нужной формы выполнено компьютерное моделирование при различных вариантах компоновки.

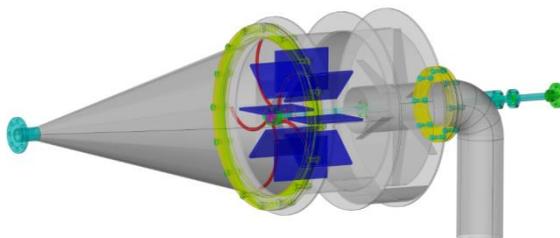
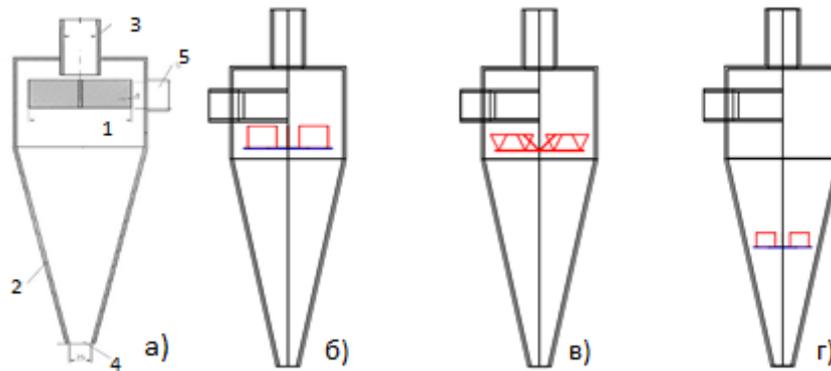


Рисунок 1.2 - Модель мини - ГЭС гидроциклонного типа для лабораторных исследований

На входе приняты такие значения: расход воды  $Q=200$  л/мин, скорость  $V=1.7$  м/с. Частота вращения при классической схеме составляет 2933 об/мин (на холостом ходу гидротурбины). На рисунке 1.3 рассмотрены варианты лопастной гидротурбины.

В ходе исследования выявлено (таблица 1.1), что при первом варианте механические примеси напрямую соприкасаются с поверхностью турбины и влекут за собой образование абразивного износа. Соответственно, этот вариант был исключен, хотя, частота вращения превышала показатели других вариантов.

Установлено, чтобы увеличить частоту вращения (в нашем случае, до 1311 об/мин) нужно уменьшить сечение входного патрубка. В конечном счете, наиболее приемлемым по вращательной способности и напорно-расходным характеристикам оказался второй вариант. Здесь гидротурбина была выполнена с одинарным ободком и лопастью, расположенная под 90 градусов.



1-гидротурбина; 2-гидроциклон; 3- отсасывающий патрубок очищенной воды; 4- песковое отверстие; 5- входной патрубок.

- а) турбина находится на одной линии подачи воды в гидроциклон;
- б) турбина находится ниже входного патрубка (лопасти расположены под  $90^\circ$ );
- в) лопасти расположены под  $45^\circ$ ;
- с) турбина расположена в конусной части гидроциклона.

Рисунок 1.3 - Варианты расположения лопастной гидротурбины в гидроциклонном корпусе мини - ГЭС

Таблица 1.1 - Значения частоты вращения при вариантах компоновки

Наименование	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
Частота вращения гидротурбины, об/мин	715	596	536

На рисунке 1.4 конкретизировано направление потока воды.

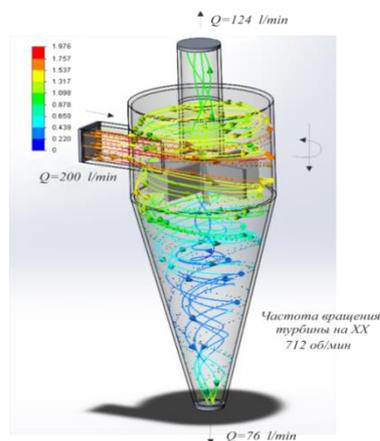


Рисунок 1.4 - Направление вектора потока воды с примесью

Цветная шкала указывает на скорость воды. В ходе вычислений установлен расход воды с механическими примесями 76 л/мин, а очищенной - 124 л/мин.

Показатели расхода между разгрузочными отверстиями имеют разные значения (таблица 1.2 - 1.4).

Таблица 1.2 - Данные давления и скоростей на входном патрубке

Параметры	Минимум	Максимум	Средний показатель	Площадь поверхности, м <sup>2</sup>
Давление, Па	80843,8701	81295,5122	81077,7582	0,001986936
Скорость, м/с	1,67594732	1,67594732	1,67594732	0,001986936

Таблица 1.3 - Данные давления и скоростей на сливном патрубке

Параметры	Минимум	Максимум	Средний показатель	Площадь поверхности, м <sup>2</sup>
Давление, Па	83630,5439	83630,5439	83630,5439	0,000916314
Скорость, м/с	1,42888358	1,52609812	1,49464753	0,000916314

Таблица 1.4 - Данные давления и скоростей на песковом отверстии

Параметры	Минимум	Максимум	Средний показатель	Площадь поверхности, м <sup>2</sup>
Давление, Па	77395,9838	77395,9838	77395,9838	0,002173858
Скорость, м/с	0,943462386	1,12727611	1,0392458	0,002173858

Максимальное значение давления фиксируется на входном и сливном патрубках. Это способствует повышению частоты вращения турбины. Для проверки достоверности результатов компьютерного моделирования произведен численный расчет энергетического показателя модели мини - ГЭС гидроциклонного типа.

При этом, мощность потока, Вт находим по формуле

$$N = g \cdot Q \cdot H \quad (1.1)$$

где  $g$  - показатель ускорения свободного падения =  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$Q$  -  $200,0 \text{ л/мин} = 3,33 \text{ л/с}$ .

Предварительно учитывается возможность потерь на линии «гидротурбина - генератор». Поэтому значение мощности выдаваемое моделью установки может различаться с расчетной величиной.

Тогда, при напоре  $0.1444 \text{ м}$  мощность находим по формуле

$$N=9,81 \cdot 3,33 \cdot 0,144 = 4,7 \text{ Вт.} \quad (1.2)$$

При этом, от скорости струи и диаметра колеса турбины зависит частота вращения турбины, об/мин.

$$n = \frac{n_s \sqrt{H}}{D_T} \quad (1.3)$$

$$n = \frac{350 \sqrt{0.144}}{0.18} = 739 \text{ об/мин}$$

где  $D_T$ - средний диаметр колеса=0.18 м ;

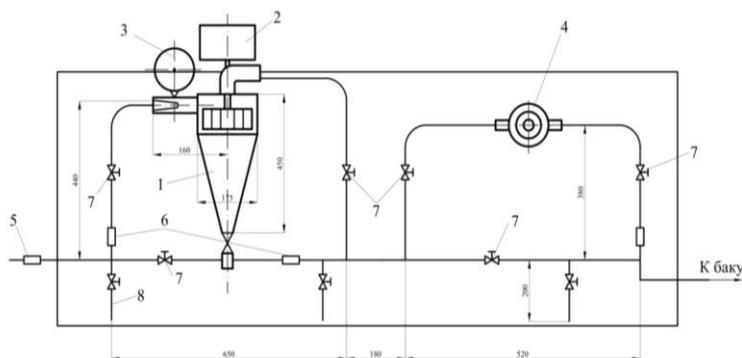
$H$  – напор;

$n_s$  - коэффициент быстроходности=350.

### 1.3 Результаты доработки лабораторного стенда и приемочных испытаний

Основной целью доработки являлась переделка существующего лабораторного стенда для испытания нового мини - ГЭС гидроциклонного типа. Базовый вариант используемого стенда был размещен на двух столах. На первом столе расположена установка для исследований. Система состоит из центробежного насоса 1,5КМ со ступенчатой регулировкой мощности, задвижек-кранов, напорного гидроциклона, пластиковых трубопроводов, электронных датчиков давления, установленных на рассматриваемых узлах гидроагрегата и электронного расходомера. Под столом расположена емкость с водой для обратного водоснабжения.

Эта компоновка использовалась и при очистке воды в вертикально установленном гидроциклоне. При совмещении в одном корпусе, как видно из рисунков 1.5-1.6 , пришлось выполнить дополнительную доработку согласно приведенной схеме.



1-гидроциклон с гидротурбиной; 2-генератор; 3-дозатор для подачи песка;  
4-гидротурбина с генератором; 5-электронный расходомер; 6- электронные датчики давления; 7- задвижки; 8- водослив; 9- насадок.

Рисунок 1.5 - Схема доработки лабораторного стенда для испытания



Рисунок 1.6 - Общий вид доработанного лабораторного стенда для испытания новой конструкции мини - ГЭС

Диаметр цилиндрической части гидроциклона 175 мм и общая длина 450 мм. В ней установлена лопастная гидротурбина, соединенная с генератором через вал.

На втором столе установлен персональный компьютер с программой мониторинга работы стендовой установки и коммуникационный шкаф с элементами управления и проведения измерений.

На входе устанавливается дозатор для подачи песка гидроциклону. Показатели фиксируются электронным расходомером и электронным датчиком давления. Используемая вода по трубам поступает в специальный бак. Оттуда откачивается с помощью консольного насоса.



Рисунок 1.7 - Разработанная гидротурбина лопаточного типа с двойным ободком на валу (угол расположения лопаток 90 градусов)

Лопатки гидротурбины изначально были выполнены с двойным и одинарным ободками на валу (рисунок 1.7, 1.8). При этом углы расположения лопаток равнялись 45 и 90 градусов. Проверка в работе этих гидротурбин не дали ощутимых результатов по энерговыработке. Вал крутился с перебоями и было сложно установить устойчивый режим работы генератора. Монтаж и установка гидротурбины с одинарным ободком (рисунок 1.9) несколько улучшила частоту вращения вала, хотя не было достигнуто расчетное значение параметра.



Рисунок 1.8 - Разработанная гидротурбина лопаточного типа с одинарным ободком на валу (угол расположения лопаток 45 градусов)



Рисунок 1.9 - Вид гидротурбины, установленной в цилиндрической части гидроциклона

После обсуждения результатов проверки было решено увеличить площади поверхности лопаток в 2 раза по длине (до 80 на 40 мм) и выполнить их из оргстекла (рисунок 1.10) во избежании ржавчины.

В ходе сравнений и наблюдений лопатки с исполнением под 90 градусов были оставлены, т.к., достигнуты хорошие результаты: напряжение выросло от 17 Вт до 32 Вт, до предельной возможности рассматриваемой модели гидротурбины.



Рисунок 1.10 - Виды лопаток турбины из оргстекла с удлиненной длиной

На основе указанных технологических параметров турбины был

подобран соответствующий генератор. Рассмотрены два варианта соединения генератора с турбиной - напрямую (рисунок 1.11, а) через муфту и ременную передачу. Объем стакана дозатора (рисунок 1.11, в) выбран исходя из необходимости песка.

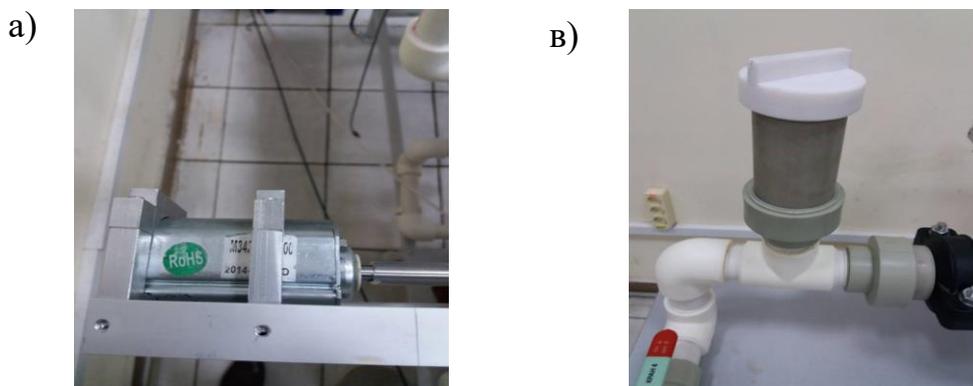


Рисунок 1.11 - Генератор, соединенный к гидротурбине (а), дозатор для подачи песка гидроциклону (в)

При высоте, равной 120 мм, диаметр его равняется 63 мм. Для улучшения подачи песка предусмотрен конусный насадок. Наличие насадка одновременно позволяет засыпать песок при действии агрегата, играя роль обратного клапана.

В окончательном виде гидроциклонный узел модели мини - ГЭС выглядит таким образом (рисунок 1.12 а,в).

Здесь показаны виды с прямым соединением генератора через муфту. Вынос сгущенной массы регулируется с помощью задвижки.

Комуникационный шкаф предназначен для управления действиями и измерениями. Помимо этого, имеется модуль сопряжения измерительных датчиков с компьютером. Для визуализации цифровой и графической информации предусмотрено программное обеспечение.

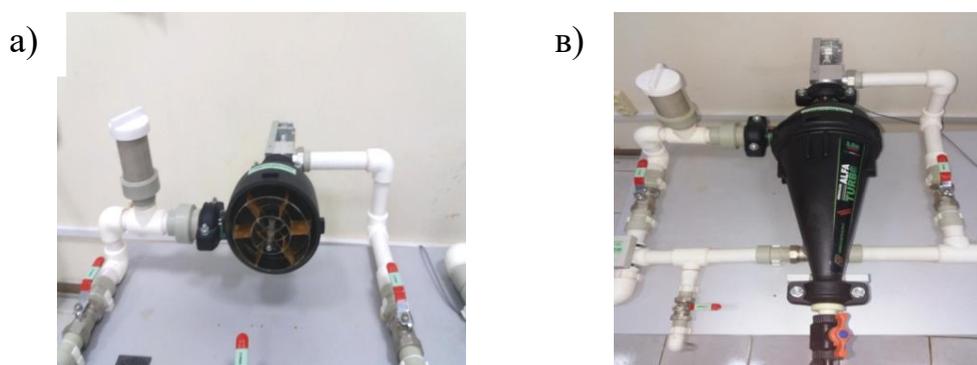


Рисунок 1.12 - Виды гидротурбины (а) и гидроциклонного корпуса (в) с дозаторами после сборки

Выявлена зависимость величины энергии от давления на линии и

частоты вращения вала генератора. Если увеличить давление на рабочее колесо, то увеличится частота вращения, повысятся технологические возможности агрегата по использованию энергии воды. Доказана работоспособность доработанного стенда в ходе проведения испытаний. Отклонений в качестве сборки гидроциклона от предусмотренных требований в техспецификации к договору не обнаружено.

## 2 Расчет основных параметров мини – гидроэлектростанции гидроциклонного типа

### 2.1 Рекомендации по расчету гидроциклонной части мини - гидроэлектростанции

Мини - ГЭС составляет генератор, поворотной-лопастной гидротурбины с горизонтальным валом и системы управления. Для работы станции напор должен составлять 65-70 м., при подаче 1 м<sup>3</sup>/сек. Генератор обеспечивает напряжение 400В [6]. Из практики известны примеры, когда при неправильном подборе диаметра или недостаточном давлении перед гидроциклоном установка не обеспечивала нужного эффекта осветления. В основном, причиной просчетов является стремление упростить установку, уменьшить число аппаратов за счет использования крупных циклонов.

Чтобы обеспечить очистку воды узлов малой ГЭС расчетными данными гидроциклонов принимают расход воды и перепад давления при входе и выходе, а также содержание взвешенных частиц до очистки.

На частицу в гидроциклоне действуют: центробежная сила, сила тяжести, силы трения, архимедова сила, которая зависит от плотности суспензии, подъемная сила, которая возникает в турбулентном потоке, силы сопротивления [7].

Параметры работы гидроциклона и характеристики материала оказывают влияние на величину всех сил. Если показатель одинаковый, то частицы циркулируют в гидроциклоне. Таким образом, в гидроциклоне различают два основных вращающихся потока. Первый - внешний, характеризуется поступательным движением по спирали вниз. Второй - внутренний.

Для определения мощности и типа мини – ГЭС основными расчетными параметрами принимаются напор и объемный расход. Эти и другие конструктивные параметры рассчитывались по нижеизложенной методике, полученные результаты приведены в таблице 2.1.

Расход воды, м<sup>3</sup>/с высчитываем по формуле

$$Q = V \cdot w \quad (2.1)$$

где  $V$  - скорость течения воды = 1.7 м/с;

$d_{тр}$  - диаметр трубы = 180 мм;

$w$  - поперечное сечение трубы, м<sup>2</sup> :

$$w = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.2)$$

Диаметр цилиндрической части гидроциклона, м находим по формуле

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{Q}{0,13 \cdot k \sqrt{\delta H}}} \quad (2.3)$$

где  $Q$  - расход воды, проходящей через гидроциклон, м<sup>3</sup>/с;

$k$  - опытный коэффициент размерности,  $k = 0,45 \dots 0,65$ ;

$\delta H$  - перепад давления жидкости, м.вод.ст [8].

Обычно для гидроциклонов среднего и большего диаметров в зависимости от давления на входе составляет  $(15 \dots 25) H_{ex}$ .

Диаметр сливного патрубка, м

$$d_{сл} = \frac{D_{ц}}{k_2} \quad (2.4)$$

где  $k_2$  - коэффициент, определяющий соотношение диаметра сливного патрубка к диаметру цилиндрической части,  $k_2 = 3,5 \dots 4$ .

Диаметр пескового отверстия, м

$$d_n = 0,18 D_{ц} \quad (2.5)$$

Диаметр входного патрубка гидроциклона, м рассчитываем по формуле

$$d_{ex} = \frac{0,75 \cdot D_{ц} - D_{сл}}{2} \quad (2.6)$$

Конструкцию гидроциклона можно дополнить цилиндрической перегородкой, это повысит эффективность. Впуск воды подается тангенциально в пространство, которое ограничено внутренним цилиндром. При этом возникает замкнутый циркуляционный поток, способствующий улучшению качества очистки. Диаметр гидроциклонов с диафрагмой и цилиндрической перегородкой принимается не более 6 м.

Высота цилиндрической части гидроциклона, м [9]

$$H_{ц} = (0,4 \dots 0,7) D_{ц} \quad (2.7)$$

Высота конической части гидроциклона, м находим по формуле

$$H_{к} = \frac{D_{ц}}{2 \operatorname{tg} \varphi} \quad (2.8)$$

где  $\varphi$  - угол конусности гидроциклона,  $\varphi = 30^\circ$ .

Общая длина двухкамерного гидроциклона, м

$$L_{ц} = 2(H_{ц} + H_{к}) + l_1 \quad (2.9)$$

Эффективность работы расчетного гидроциклона с установленными размерами определяем по степени извлечения твердых частиц из потока. Для этого необходимо вычислить минимальную и максимальную величины в обрабатываемой воде, которые могут быть выделены с помощью данного гидроциклона.

Минимальная крупность частиц, улавливаемых гидроциклоном, м

$$\delta = \frac{0.75 \cdot d_{\text{вх}}^2}{\varphi_x} \sqrt{\frac{\pi \cdot \nu}{Q \cdot h (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}})}} \quad (2.10)$$

где  $\varphi_x$  - коэффициент изменения окружной скорости, связанный с размерами гидроциклона.

$$\varphi = \frac{0,1 D_{\text{ц}}}{dn} \quad (2.11)$$

$$\varphi = \frac{0,1 \cdot 0,44}{0,0792} = 0,56$$

где  $k_1 = 0,1$  - const;

$\nu$  - вязкость жидкости,  $\nu = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ;

$h$  - высота центрального завихренного потока жидкости, которая может быть принята, равной  $(0,5 \dots 0,66) H_{\text{об}}$ ;

$H_{\text{об}}$  - общая высота гидроциклона, м;

$\rho_{\text{ч}}, \rho_{\text{в}}$  - плотность частиц и воды,  $\rho_{\text{ч}} = 1,8 \text{ т/м}^3$ ,  $\rho_{\text{в}} = 1,02 \text{ т/м}^3$  [10].

$$H_{\text{об}} = H_{\text{ц}} + H_{\text{к}} \quad (2.12)$$

Момент извлечения твердых частиц из потока воды определяет эффективность работы гидроциклона. Для этого достаточно вычислить минимальную величину частиц в природной и сточной водах.

Производительность гидроциклона  $\text{м}^3/\text{с}^2$ , вычисляется по формуле [11]

$$Q = 15,5 k_{\text{D}} k_{\text{a}} d_{\text{пит}} d_{\text{сл}} \sqrt{P_{\text{вх}}} \quad (2.13)$$

где  $d_{\text{пит}}$  и  $d_{\text{сл}}$  - диаметры питающего и сливного патрубков (м) ;

$P_{\text{вх}}$  - перепад давления, который существует в гидроциклоне, (Па);

$k_{\text{D}}, k_{\text{a}}$  - коэффициенты влияние концентрата примесей, вычисляются по формулам

$$k_{\text{D}} = 0,8 + \frac{1,2}{1 + 0,1D} \quad , \quad (2.14)$$

$$k_{\text{D}} = 0,8 + \frac{1,2}{1 + 0,1 \cdot 0,7} = 1,51$$

$$k_a = 0.79 + \frac{0.044}{0.0379 + \tan \frac{\alpha}{2}} \quad (2.15)$$

$$k_a = 0.79 + \frac{0.044}{0.0379 + 0.2} = 0.97 .$$

Для вычисления размера частиц используется зависимость:

$$d_T = 1.65 d_{\text{вх}} \sqrt{\frac{\mu_c}{(v_\phi \cdot l \cdot (\rho_T - \rho_J))}} \quad (2.16)$$

где  $d_{\text{вх}}$  – диаметр патрубка, м;

$l$  – высота сепарационной зоны, равная расстоянию между нижним загрузочным патрубком и осью питающего патрубка = 0,378 м;

$\mu_c$  – динамическая вязкость исходной суспензии = 0,01004 Па·с;

$\rho_T$  и  $\rho_J$  – плотности дисперсионной и дисперсной сред, кг/м<sup>3</sup>;

$v_\phi$  – тангенциальная скорость движения, м/с определяется по формуле

$$v_\phi = 31.5 v_{\text{вх}} \left( \frac{d_{\text{вх}}}{D} \right) \left( \frac{L}{D} \right)^{-0.32} \quad (2.17)$$

где  $v_{\text{вх}}$  – скоростью движения во входном патрубке в момент ее входа в гидроциклон, м/с;

$D$  – диаметр цилиндрической части гидроциклона, м;

$L$  – длина цилиндрической части гидроциклона, м.

Таблица 2.1 - Расчеты по гидроциклонной части

Исходные параметры	Ед.измерения	Значения
Расход воды	м <sup>3</sup> /с	0,0508
Поперечное сечение трубы	м <sup>2</sup>	0,0254
Диаметр цилиндрической части гидроциклона	м	0,44
Диаметр сливного патрубка	м	0,126
Диаметр пескового отверстия	м	0,0792
Диаметр входного патрубка гидроциклона	м	0,102
Высота цилиндрической части гидроциклона	м	0,22
Высота конической части гидроциклона	м	0,44
Общая длина двухкамерного гидроциклона	м	1,52
Минимальная крупность частиц, улавливаемых гидроциклоном	м	0,0023
Общая высота гидроциклона	м	0,66
Производительность гидроциклона	м/с <sup>2</sup>	583554
Размер улавливаемых частиц	м	0,2
Тангенциальная скорость движения	м/с	11,7

## 2.2 Рекомендации по расчету турбинно-генераторной части мини - гидроэлектростанции

Гидрогенератор – это синхронная электрическая машина тока, которая преобразует механическую энергию турбины в электрическую. Во вращение ее приводит гидротурбина. Генератор состоит из статора и ротора. Статор включает в себя корпус и сердечник с обмоткой. А ротор состоит из остов, спицы, обод и полюса [12].

Основными параметрами являются: диаметр рабочего колеса, частота вращения, КПД, требуемая высота отсасывания.

Существует активные и реактивные турбины. Реактивные турбины хотя бы частично используют потенциальную энергию. Вращение происходит за счет разности давлений до и за колесом. Рабочее колесо активной турбины вращается в воздухе [13].

Количество электроэнергии приводящего в движение турбину мини - ГЭС можно рассчитать следующим образом.

Нахождение мощности, кВт по формуле

$$P = 0,098 Q \cdot H . \quad (2.18)$$

Скорость вращения рабочего колеса турбины, об/мин вычисляется по формуле

$$n = Q \cdot s \cdot g \cdot H \quad (2.19)$$

где  $H$  - полный гидростатический напор, м;

$S$  - сечение потока,  $m^2$ .

Поставляемая энергия будет зависеть от эффективности подачи воды , конвертации в электричество. При подаче на место пользования возможны потери.

Скорость истечения воды из сопла,  $m/c^2$  [14]

$$V = \sqrt{2gH} . \quad (2.20)$$

Отсюда диаметр сопла, м рассчитываем по формуле

$$d = 17 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}} . \quad (2.21)$$

Диаметр сопла должен быть меньше диаметра напорного коллектора. Если же они будут равны, то вода будет двигаться с одинаковой скоростью по всему коллектору, что приведет к потере воды. Так же потери могут возникнуть на трение о стенки напорного коллектора.

Площадь сопла,  $m^2$  рассчитываем по формуле

$$S=ab= 226\frac{Q}{\sqrt{N}} . \quad (2.22)$$

Сопло надо располагать пониже, во избежании уменьшения перепада высот. Тогда ось турбины можно будет установить вертикально. На торцы ставятся заглушки, или для охвата всех лопаток- кольцо.

Ременные передачи - механические передач трения с гибкой связью. Применяются для передачи нагрузки между валами. Ременная передача состоит из ведущего и ведомого шкивов. Вращение ведущего шкива преобразуется во вращение ведомого благодаря трению между ремнем и шкивами.

Благодаря эластичности ремней передачи работают плавно, без ударов и бесшумно. Ремни предохраняют механизмы от перегрузки. К преимуществам относятся низкая стоимость, удобство монтажа и обслуживания. Недостатками являются большие габариты, изменение передаточного отношения, повышенные нагрузки на опоры валов, необходимость дополнительных устройств для натяжения ремней, недолговечность ремня [15].

Передаваемая мощность 7кВт, частота вращения вала 1440 мин<sup>-1</sup>, передаточное число 4. Нагрузка с умеренными колебаниями. Определяем минимальный диаметр малого шкива  $D_{min}$  по формуле М. А. Саверина [16], учитывая что

$$w_1 = \frac{\pi n}{30} = \frac{1445\pi}{30} = 150 \text{ рад/с} \quad (2.23)$$

тогда,

$$D_{min} = (0,052 \dots 0,061) \sqrt[3]{\frac{P}{w}} . \quad (2.24)$$

Найдем полную мощность генератора, Вт

$$S_r = \frac{P}{\cos\varphi} \quad (2.25)$$

где P-активная мощность, Вт;

$\eta$  - КПД генератора;

N – суммарная мощность гидроэлектростанции, Вт.

Полюсное деление:

$$\tau^i = AS^{ia} \quad (2.26)$$

где A и a для водяного способа охлаждения обмотка ротора и статора.

Диаметр ротора, м находим по формуле

$$D_i = \frac{v_2 p}{\pi} . \quad (2.27)$$

Предельная окружная скорость ротора, м/с

$$v = \frac{\pi D k n}{60} \quad (2.28)$$

где  $D_i$  - диаметр ротора, м;

$n$  - количество оборотов, об/мин.

Маховый момент ротора генератора:

$$G \cdot D^2 = 2.9 D_i^4 l \phi . \quad (2.29)$$

В таблице 2.2 указаны полученные результаты по перечисленным формулам.

Таблица 2.2 - Расчеты по турбинно-генераторной части

Исходные параметры	Ед.измерения	Значение
Мощность гидротурбины	кВт	35,17
Скорость вращения колеса	об/мин	1,6
Скорость истечения воды из сопла	м/с <sup>2</sup>	43,6
Диаметр сопла	м	7,14
Площадь сопла	м <sup>2</sup>	3842
Минимальный диаметр малого шкива	м	0,23
Угловая скорость вращения	рад/с	150
Полная мощность генератора	кВт	6900
Полюсное деление		0,42
Диаметр ротора	м	4,013
Предельная окружная скорость ротора	м/с	84
Маховый момент ротора генератора	т·м <sup>2</sup>	315,88

### 2.3 Результаты изучения рабочей характеристики гидротурбины с генератором

Гидравлическая турбина представляет собой двигатель, в котором энергия потока превращаются в энергию турбины. При помощи генератора механическая энергия турбины преобразуется в электрическую энергию, которая через линии электропередачи подается к потребителю.

Преимуществом современных гидротурбин можно назвать обладание высокой степени использования энергии потока, большие скорости вращения, возможность сосредоточения значительной мощности в одном агрегате.

Гидротурбина состоит из: подводящей камеры, направляющего аппарата, рабочего колеса, камеры рабочего колеса, отсасывающей трубы, вала, подшипников [17,18].

Рабочее колесо является основным органом турбины. В поворотнo-лопастных турбинах поворот лопастей обеспечивает безударное обтекание их потоком, это дает возможность сохранять максимально возможный коэффициент полезного действия турбины.

Сердечник статора имеет пазы. На внешней стороне ротора прикреплены полюсы. Катушки полюсов соединены между собой. В обмотку подаётся ток генератора. В статоре основной магнитный поток замыкается в магнитной цепи [19].

Ввиду оказания значительного воздействия центробежных сил и разницы плотностей составляющих на гидроциклон, было изучено распределение скоростей и давление по периметру гидроциклонного устройства в принятых режимах работы. Как видно по таблице 2.3 и рисункам 2.1 – 2.2 , величина вырабатываемой энергии зависит от расходно-напорной характеристики гидроциклонного корпуса.

Таблица 2.3 - Данные опытов на лабораторном стенде по измерению мощностной характеристики мини - ГЭС

Расход воды, л/мин	Давление $P_1$ , кПа	Давление $P_2$ ,кПа	Давление $P_3$ ,кПа	Кол-во оборотов, об/мин	Напряже-ние,В	Ток,А
320	1500	1300	450	1200	39	0,42
315	1600	1400	430	1050	37	0,41
300	1650	1450	405	850	35	0,39
290	1700	1500	400	660	33	0,36
250	1800	1700	350	250	28	0,31
200	2200	1800	280	270	29	0,31
160	2100	2000	240	150	27	0,29
120	2300	2200	170	0	19	0,21

Основными параметрами работы гидротурбины выступает не только напор и расход воды,но и число оборотов её вала в минуту и допустимая высота всасывания. Число оборотов вала гидротурбины зависит от её системы, типа и размера рабочего колеса, напора. От этого исходит зависимость характера соединения вала гидротурбины с валом генератора. Чем выше число оборотов вала гидротурбины, тем легче и удобнее осуществляется это соединение. Выгодно предпочитать гидротурбины с более высоким значением числа оборотов, ведь актуально усложнение и подорожание оборудования.

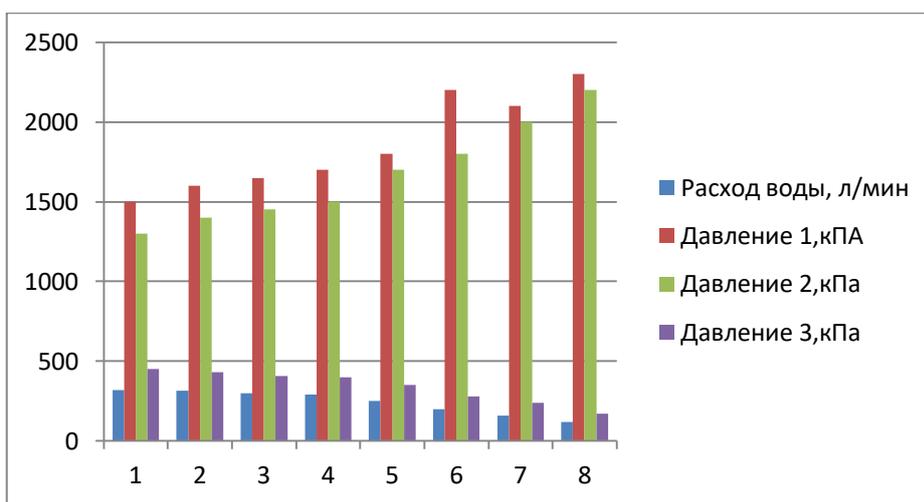


Рисунок 2.1 - Зависимость расхода воды и давления

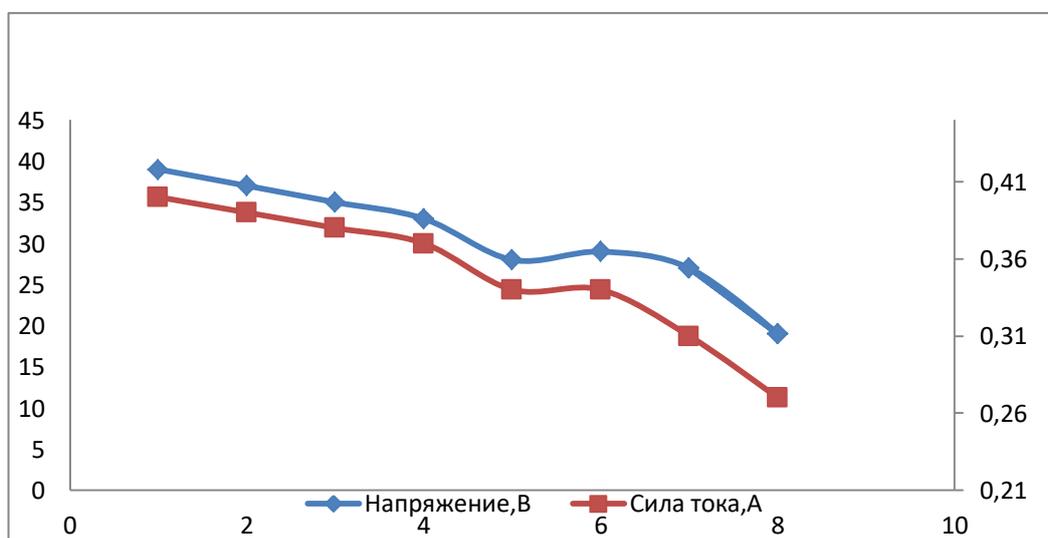


Рисунок 2.2 - Зависимость напряжения и силы тока

Как показывают первоначально полученные данные (рисунок 2.3) при работе насоса с производительностью до 250 л/мин зависимость подачи воды  $Q$  от давление на входе в гидроциклон P1 происходит аналогично как в обыкновенных центробежных насосах. При этом потери давления составляет 20-30 процентов. В данном случае, из-за подачи очищенной воды после гидроциклона в водоприемный бак напрямую, показатели электронного датчика на входе гидротурбины P2 и на выходе P3 незначительны.

Усиленное воздействие давления на рабочее колесо гидротурбины способствует к увеличению частоты вращения и тем самым приводит к улучшению технологической возможности агрегата по максимальному использованию энергии водных ресурсов.

При возможных колебаниях уровня воды в реке предусмотрено использование натяжного устройства. Оно снабжено дополнительным колесом со специальной пружиной.

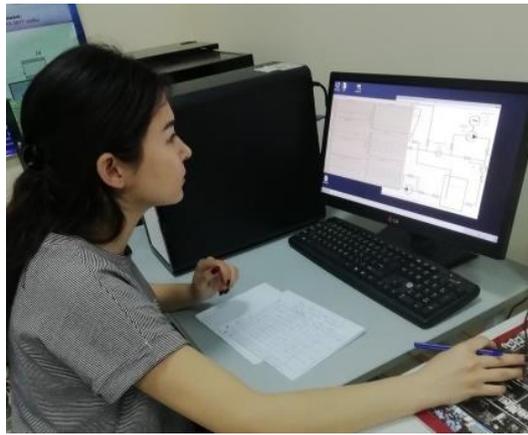


Рисунок 2.3 - Регистрация показаний эксперимента на рабочем столе компьютера

На рисунках 2.4 и 2.5 показаны графики зависимости при отдельном исследовании гидротурбины и ее совместной работе с гидроциклоном.

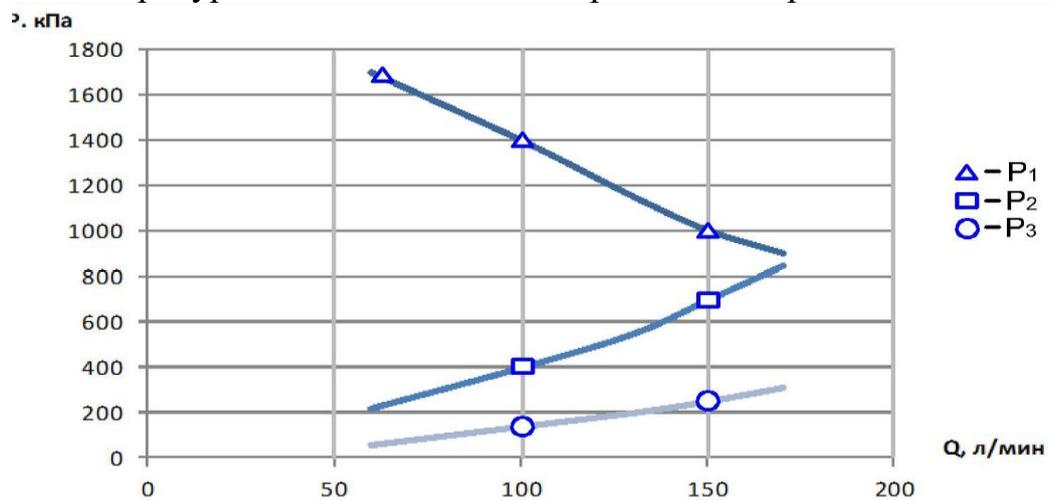


Рисунок 2.4 - Результаты испытания отдельной гидротурбины от насоса

Некоторое повышение потерь давления P<sub>2</sub> и P<sub>3</sub> объясняется наличием закрученных потоков в гидроциклоне и гидротурбине, а также из-за наличие значительных поворотов в соединениях водоподающих труб.

Для того чтобы установить энергетическую характеристику установки был специально рассмотрен узел «гидротурбина-генератор» (рисунок 2.6). При этом рассматривались три режима: работа узла при максимальной нагрузке, при средней и при минимальной нагрузке. Выявлено, что величина вырабатываемой мощности (энергии) напрямую зависит от давление на линии и от частоты вращения вала генератора.

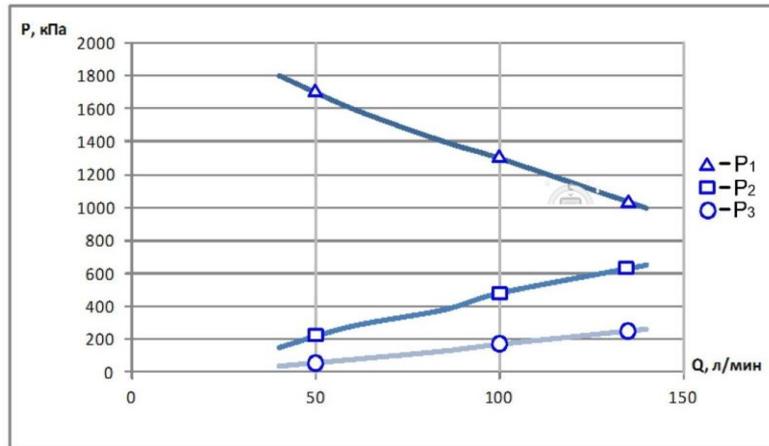


Рисунок 2.5 - Графики зависимости  $Q = f(P_1, P_2, P_3)$  совместной работы гидроциклона с гидротурбиной



Рисунок 2.6 - Рабочее состояние узла «гидротурбина-генератор»

Полученные результаты по установлению вырабатываемой мощности приведены на рисунке 2.7

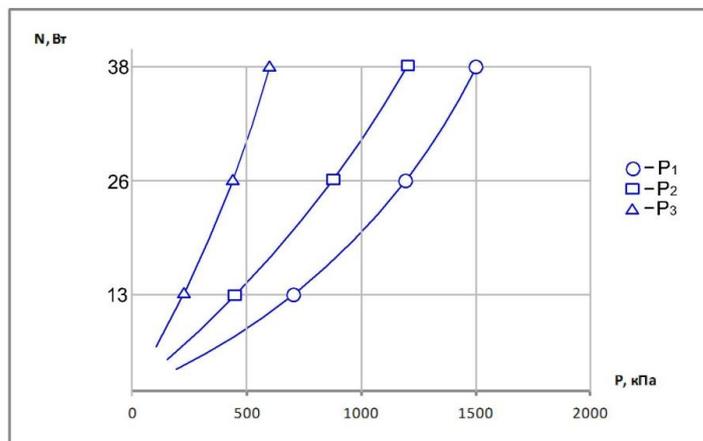


Рисунок 2.7 - Результаты испытания узла «гидротурбина – генератор»

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Анализ зарубежных и отечественных конструкции мини - ГЭС показывает, что особенно мини - турбины, предложенные американскими инженерами, и турбины бельгийской фирмы для защиты от эрозии отличаются высокой технологичностью и эффективностью;

2) В настоящее время в Казахстане вопросами разработки и исследования малой и мини - ГЭС занимаются более 10 научных организации и учебных заведениях. Полученные результаты обнадеживающие.

3) Сутью поставленной задачи по усовершенствованию является упрощение конструкции мини - ГЭС циркуляционного действия и при помощи вращательного эффекта в гидроциклоне обеспечить очистку воды от механических примесей, поступающей к рабочей гидротурбине.

4) На основе компьютерного моделирования и доработки лабораторного стенда установлено, чтобы увеличить частоту вращения (в нашем случае, до 1311 об/мин) нужно уменьшить сечение входного патрубка. В конечном счете, наиболее приемлемым по вращательной способности и напорно-расходным характеристикам оказался второй вариант. Здесь гидротурбина выполнена с одинарным ободком и лопастью, расположенной под 90 градусов.

5) Усиленное воздействие давления на рабочее колесо гидротурбины способствует увеличению частоты вращения, тем самым приводит к улучшению технологической возможности агрегата по максимальному использованию энергии водных ресурсов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Вильковский И.Я. Опыт и перспективы работы Алматы Гидропроекта по развитию гидроэнергетики Казахстана // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, 2001, № 1, с. 27-33.
- 2 Патент № 2395001 (Российская Федерация), гидроэлектростанция на спиральном потоке воды // Яковенко А.Л., Кузнецов Н.Н., Богаче Д.В., - 2009.
- 3 Информация сайта <http://dom-en.ru/vodovorot/>
- 4 Патент № 29169 (Казахстан), Циркуляционная мини – ГЭС // Ю.В. Янина, Н.А. Ходанков,- 2014.
- 5 Гидроэнергетика на рубеже 2010 года и перспективы ее развития // Из материалов Всеросс. совещ. гидроэнергетиков / Гидротехнич. строительство, 2000, № 3.- с.1-4.
- 6 Карелин В.Я., Волшаник В.В. Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций. -М.:Энергоатомиздат. 2000. - 199 с.
- 7 Неклепаев Б.Н., Крючков И.П., Щавелев Ю. С., Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового проектирования; Учебное пособие для ВУЗов, М.:Энергоатомиздат, 2000,-5 с
- 8 Серебренников Ф.В. «Расчет основных энергетических параметров гидроэлектрической установки» (учебное пособие). М: МГУП, 2007г.
- 9 Информация сайта <http://www.ecologyside.ru/ecosids-1024-1.html>
- 10 Бальзанников М.И., Иванов М.В. Гидротурбина для мини-ГЭС // Вестник МГСУ 2013. № 12. С. 139—147
- 11 Информация сайта [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ремённая\\_передача](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ремённая_передача)
- 12 Информация сайта <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2>
- 13 Претро Г .А., Федоров М.П. Использование гидроэнергетическими установками потенциальных водных ресурсов мира//Гидротехническое строительство.-2002.- № 8.- С.1-11.
- 14 Чокин Ш.Ч., Паутов А.С. Основные исследования в области гидроэнергетики // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, 2007, № 3, с.68-76.
- 15 Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Electrical Engineering – №28, 2017
- 16 Техничко-экономический доклад об основных направлениях развития малой гидроэнергетики // Каз.фил. Гидропроекта . - Алматы, 2003 .
- 17 Карелин В.Я., Волшаник В.В. Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций. М.: Энергоатомиздат, 2006. - 200 с.
- 18 Energy Technology Perspectives. Scenarios & Strategies to 2050. International Energy Agency. Paris. 2008.
- 19 Лашенов С.Я. и др. Проблемы и пути развития гидроэнергетики // Гидротехническое строительство.- 2010.- № 5.- С.1-10.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Приложение А

Основные положения по эксплуатации рассматриваемой мини – ГЭС антиабразивного исполнения

Превращение энергии потока воды в механическую энергию способствует выработке электроэнергии с превращением ее в асинхронном генераторе в электрическую энергию. Водозаборное устройства в русле реки, строительство деривационного канала, напорного бассейна и водоподводящего напорного трубопровода создает напор воды.

Выбранный гидрогенератор марки Т 25-10 (ГТ) подает мощность до 10 кВт . Измерение напора воды перед турбиной осуществляется манометром типа МТП - 100, класса точности 2,5.

Гидрогенератор может эксплуатироваться при расходе воды не менее 200 л/с и при напоре воды не менее 6 м. Уровень воды над трубой у водозабора при открытой заслонке должен быть не менее 300 мм.

*При запуске ГТ на холостом ходу* в напорном бассейне закрыть затвор Нт (напорного трубопровода) и открыть затвор Ск (сбросного канала). Необходимо промыть деривационный канал и напорный бассейн от наносов и плавника. Затвор сбросного канала закрывают в напорном бассейне для проверки пропускной способности дополнительного канала при наибольшем расходе воды в деривационном канале. *Запуск в работу* производится следующим образом. Проверяется плавность вращения валов гидротурбины и генератора от руки. Закрывается затвор в напорном бассейне. Открыть затвор в напорном бассейне и затвор водозабора. Открывается затвор в напорном бассейне на одну треть диаметра напорного трубопровода. Проверяется плавность вращения валов гидротурбины и генератора при подаче воды на гидротурбину.

Бывают *плановые* и *аварийные остановки ГТ*. В обоих случаях открываем затворы Ск и закрываем затворы Нт. Также необходимо, чтобы выключатели шкафа возбуждения и шкафа нагрузок были отключены.

Работоспособность проверяется наблюдением за напряжением на каждой фазе. Напряжение должно быть в пределах 180...230Вт.

Гарантийная наработка ГТ устанавливается на 6000 часов со дня ввода ГТ в эксплуатацию, но не более 12 месяцев с момента поступления потребителю при условии обязательного соблюдения потребителем требований к монтажу и эксплуатации. Необходимо всегда соблюдать меры безопасности.

Капитальный ремонт производить через 12000 часов наработки. В объем капитального ремонта входит: проведение всех предусмотренных текущим обслуживанием работ; ремонт, при котором поврежденные детали должны быть отремонтированы или заменены; настройка блока возбуждения, шкафа управления и сборочных единиц, с проведение замены элементов и деталей.

## Приложение Б

### Техника безопасности при эксплуатации мини - ГЭС

Прежде всего, стоит отметить экологическую безопасность мини-ГЭС - критерий, который становится все более важным в свете проблем защиты окружающей среды. Малые гидроэлектростанции не оказывают вредного влияния ни на свойства, ни на качество воды. Акватории, где устанавливается гидроэлектростанция малой мощности, можно использовать как для рыбохозяйственной деятельности, так и в качестве источника водоснабжения населенных пунктов. Для обеспечения безопасности труда на строительномонтажной площадке большое значение имеет правильное применение средств индивидуальной защиты. Они служат для предотвращения или уменьшения влияния на работающих опасных и вредных производственных факторов. Для защиты тела применяются специальная одежда и специальная обувь. Комбинезоны, полукомбинезоны, брюки, куртки, фартуки, нарукавники, сапоги, ботинки, боты, галоши. В холодное время года работникам выдают куртки и брюки на утепленной подкладке, тулупы, полушубки, шапки-ушанки, валенки. Защита рук работников обеспечивается перчатками и рукавицами.

Все лица, находящиеся на территории строительномонтажной площадки, должны носить защитные каски. Средства индивидуальной защиты при монтаже бывают различными. При работах в условиях повышенного газо- и пылевыведения применяются респираторы и противогазы. Очки, маски, щиты используются для защиты глаз от попадания инородных частиц или воздействия вредного излучения. При работах в условиях повышенного шума применяются противощумные вкладыши и наушники. К индивидуальным защитным средствам относятся предохранительные пояса, обеспечивающие защиту в случае падения работающего с высоты, а также коврики диэлектрические, наколенники, налокотники, наплечники. Рабочие и инженерно-технические работники без защитных касок и других необходимых средств индивидуальной защиты к выполнению работ не допускаются.

Для борьбы с возгораниями и начинающимися пожарами необходимо иметь в достаточном количестве и постоянной готовности, следующие первичные средства пожаротушения: ящик с песком, углекислотные огнетушители, бочки с водой, ведра пожарные, лопата, асбестовые и войлочные полотна, мотопомпа или пожарный кран.

Сооружение заземлителя будет вестись с внешней стороны здания вертикальными электродами. В качестве электродов принимаются стальные стержни диаметром 30 мм и длиной 2 м, которые погружают в грунт методом ввертывания. Расстояние между электродами 1 м. Количество вертикальных заземлителей 12 с учетом соединительной полосы.

## Приложение В

### Экономическая эффективность применения мини - ГЭС

Малые ГЭС обходятся дороже, чем большие и сегодня развитие малой гидроэнергетики находится в неравных условиях по отношению к традиционным способам генерации энергии, инфраструктура которых развивалась преимущественно в рамках национальных вертикально интегрированных монополий.

Показателем сравнительной экономической эффективности капиталовложений являются приведенные затраты, которые по всем сравниваемым вариантам рекомендуется определить с учетом фактора времени по формуле

$$Z = E_n K + I \quad (B.1)$$

где  $K$  - единовременные капитальные вложения по данному варианту строительства (2,557 млрд.тг);

$I$  - годовые эксплуатационные издержки (60,463 млн.тг);

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, принимаемый равным 0,08-0,12.

$$Z = 0,12 \cdot 2\,557\,081\,900 + 60\,463\,151 = 367,312 \text{ млн.тг/год.}$$

Целесообразность строительства конкретной малой ГЭС является соотношением приведенных затрат в варианте малой ГЭС и альтернативном решении. И если приведенные затраты в альтернативном решении превышают аналогичные затраты при сооружении малой ГЭС, то мы можем считать, что строительство данной малой ГЭС считается экономически обоснованным.

Определяем приведенные затраты:

$$Z_{\text{ГЭС}} = E_n K_{\text{ГЭС}} + I_{\text{ГЭС}} \quad (B.2)$$

$$Z_{\text{ГЭС}} = 0,12 \cdot 1\,023\,222\,558 + 501\,146\,503 = 623\,933 \text{ млн.тг/год.}$$

Соотношение приведенных затрат к аналогичным затратам больше единицы, исходя из этого, можно сказать, что строительство мини - ГЭС считается экономически обоснованным.

Для определения общей эффективности капиталовложений в ГЭС подсчитаем коэффициент рентабельности  $\mathcal{E}_p$ . Для этого воспользуемся формулой

$$\mathcal{E}_p = \frac{C - I_{\text{ГЭС}} - I_{\text{лэп}}}{K_{\text{ГЭС}} + K_{\text{лэп}}} \quad (B.3)$$

*Продолжение приложения В*

где  $I_{гэс}$ - ежегодные издержки (60,463 млн.тг/год);  
 $I_{лэп}$ - ежегодные издержки в линии электропередач (11,627 млн.тг/год);  
 $K_{гэс}$ - капитальные вложения (3,726 млрд.тг/год);  
 $K_{лэп}$ - капитальные вложения в линии электропередач (232,550 млн.тг/год);  
 $\Pi$ -валовой доход от отпуска электроэнергии потребителям (по двуставочному тарифу 639,514 млн.тг/год);

$$\mathcal{E}_p = \frac{639514000 - 60463000 - 11627000}{3726000 + 232550000} = \frac{567424000}{236276000} = 2,4.$$

Капитальные затраты на мини-ГЭС напрямую связаны с ее мощностью. Полная стоимость комплектного гидросилового оборудования, с учетом установленной мощности и ее удельной стоимости, определяется по формуле

$$K_{уст} = K_{уст,уд} \cdot P_{ном} \quad (B.4)$$

$$K_{уст} = 10 \cdot 145527 = 1455270 \text{ тг.}$$

Стоимость проектных работ по определению места установки станции на местности практически не связана с ее мощностью и может приниматься постоянной, зависящей только от минимального размера оплаты труда (МРОТ):

$$K_{пр} = 50 \cdot \text{МРОТ} \quad (B.5)$$

где МРОТ = 42500 тг., согласно Закон Республики Казахстан от 30 ноября 2017 года № 113-VI «О республиканском бюджете на 2018 – 2020 годы.

$$K_{пр} = 50 \cdot 42500 = 2125000 \text{ тг.}$$

Стоимость строительных и монтажных работ по установке станции на местности ( $K_{стр}$ ) определяется в зависимости от полной установленной мощности мини - ГЭС и среднего уклона реки ( $\Delta H$ ). Для этого в расчетах применяются следующие коэффициенты:

$K_p$ – коэффициент затрат на установку станции, в расчетах принимается постоянным, равным 0,05;

$K_n$ – коэффициент, учитывающий изменение затрат на установку станции в зависимости от среднего уклона русла реки.

Значительный разброс в значениях коэффициента, учитывающего стоимость строительных работ в зависимости от среднего уклона русла реки

### *Продолжение приложения В*

объясняется пропорциональным уменьшением длины и диаметра напорного трубопровода и, соответственно, затрат на его монтаж с увеличением напора.

После определения поправочных коэффициентов, стоимость строительных и монтажных работ по установке станции :

$$K_{\text{стр}} = K_p \cdot K_n \cdot K_{\text{уст}} \quad (\text{В.6})$$

$$K_{\text{стр}} = 0,05 \cdot 0,5 \cdot 1455170 = 36379,25 \text{ тг.}$$

Суммарные капитальные затраты:

$$K_k = K_{\text{уст}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{стр}} \quad (\text{В.7})$$

$$K_k = 1455170 + 2125000 + 36379,25 = 3616549 \text{ тг.}$$

В расчетах величина расходов на обслуживание мини - ГЭС принимается постоянной, зависящей от МРОТ :

$$C_{\text{обсн}} = 36 \cdot \text{МРОТ} \quad (\text{В.8})$$

$$C_{\text{обсн}} = 36 \cdot 42500 = 1530000 \text{ тг.}$$

Суммарные эксплуатационные затраты :

$$C_{\Sigma} = C_{\text{обсн}} + C_{\text{рем}} \quad (\text{В.9})$$

$$C_{\Sigma} = 1530000 + 298329 = 1828329 \text{ тг.}$$

## Приложение Г

### Анализ зарубежных конструкции мини - ГЭС: достоинства и недостатки

Большой вклад в развитие гидроэнергетики внес русский инженер М.О. Доливо-Добровольский. Под его руководством была построена первая промышленная ГЭС мощностью 220 кВт с генератором трехфазного тока (в местечке Лауфен на р. Неккар, Германия) в 1891 г. Впервые от нее была осуществлена передача электроэнергии переменным током напряжением 8,5 кВт на расстояние 170 км во Франкфурт-на-Майне. Основа нового этапа использования гидроэнергетических ресурсов путем преобразования энергии воды в электроэнергию на гидроэлектростанциях - быстрое развитие и успехи гидроэнергетики в конце XIX века. На сегодняшний день создаются эффективные гидравлические турбины, осуществляется передача электроэнергии на значительные расстояния, разрабатываются электрогенераторы переменного тока .

Контейнерные мини - ГЭС, компоненты стационарных мини - ГЭС производит венгерская компания Ganz EEM. Оно же дочернее предприятие «Атомэнергомаша». Основные преимущества мини-ГЭС - низкая себестоимость вырабатываемого электричества, короткое время доставки оборудования, незначительные земляные работы при установке, быстрый монтаж. В Центральной Азии перспективными являются 100–150 площадок. В частности, в Узбекистане рассматриваются два проекта: в рамках первого могут быть построены станции общей мощностью до 60 МВт, второго - 20 МВт. Разработка данной инновационной продукции осуществляется при финансовой поддержке венгерского государства. Общая стоимость проекта 738 млн. фунтов (2,34 млн. евро). Мини - ГЭС мощностью 0,5 МВт может обслужить отдаленные небольшие населенные пункты и промышленные предприятия по добыче нефти, лесозаготовки, шахты и т.д.

Два молодых бельгийских стартапера Джаспер Верридт и Грит Слачмалдеср разработали в 2016 году революционную модель мини - ГЭС, которая способна вырабатывать от 1 до 200 кВт энергии и не оказывать влияние на естественный поток реки. Турбина создана с помощью 3D-печати и основывается на принципах биомимикрии.

Именно на полную экологичность и «работу с природой» акцентируют внимание основатели мини - ГЭС. Предусмотрено низкое давление и особая конструкция установки, способствующая рыбе попасть в турбину и выплыть из нее. Соответственно, для производства использовались экологически чистые материалы. Как отмечают разработчики, конструкция турбины будет предотвращать накопление вокруг себя разнообразного мусора, плавающего в реках. Она не будет требовать частого технического обслуживания, может бесперебойно работать до 20 лет. Кроме того, бельгийские предприниматели рассмотрели еще один способ применения турбин (рисунок Г.1) - для защиты

## Продолжение приложения Г

ветровых энергоустановок от эрозии грунта, убирая вихревое движение вокруг основных конструкций. Это продлит срок службы и сократит расходы на содержание таких установок. Предстоит еще много исследований, но конструкция уже имеет потенциал значительно снизить расходы на создание устойчивых источников энергии.

Изобретение уже привлекло внимание таких компаний, как Autodesk и VITO, получил финансирование от KIC Innoenergy, Iminds и правительства Бельгии. А на международном саммите стартапов в Мексике проект получил звание «Лучший стартап в мире», получил на награду \$ 8,491.

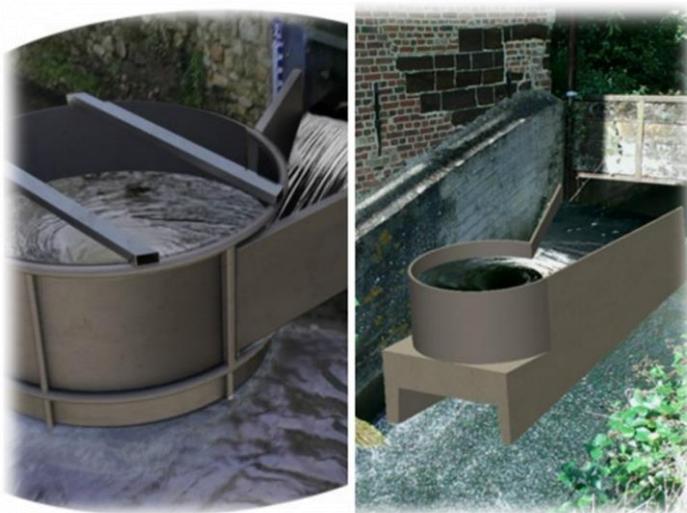


Рисунок Г.1 - Применение турбины бельгийской фирмы для защиты от эрозии

Американские инженеры из Lucid Energy дополнили идею, предложив установить в системе городского водопровода мини-турбины (рисунок Г.2), которые вращались бы за счёт течения по трубам питьевой воды, поставляемой местным жителям. Главным преимуществом технологии является полное отсутствие какого-либо негативного воздействия на окружающую среду, невысокая себестоимость полученной таким способом электроэнергии.

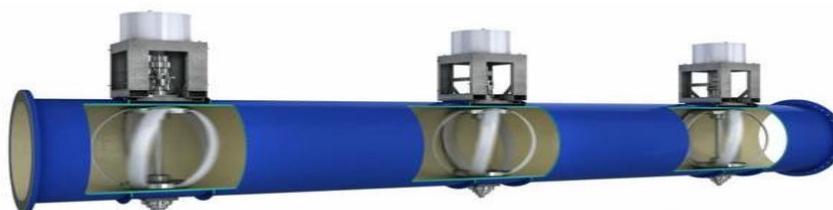


Рисунок Г.2 - Мини турбины, предложенные американскими инженерами

## Приложение Д

Патентно-информационный поиск отечественных разработок по мини-ГЭС

40-е года прошлого века - начало разработок и проектирования ГЭС в Казахстане. Этому способствовали востребованность в малой гидроэнергетике в целом и создание филиала Всесоюзной проектной организации «Гидропроект» в Казахстане. Усовершенствовались варианты Алматинских каскадов малой ГЭС, достигнуто успешное продолжение работы по эффективному использованию энергии водных ресурсов, особенно Юго - Восточного Казахстана.

В настоящее время вопросами разработки и исследования малой и мини - ГЭС занимаются более 10 научных организации и учебных заведения. Ведущими из них являются Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, КазНИИ энергетики, Институт энергетики и связи, Таразский государственный университет имени М.-Х. Дулати, Национальная инженерная академия Республики Казахстан.

Существующий задел по рассматриваемому вопросу исследовательского и технологического направления характеризуется следующим образом. Начиная с 2010 года на основе бюджетного финансирования проведены 8 научно-исследовательских работ и получены инновационные патенты более на 40 изобретения по конструкции гидроэлектростанции, гидроагрегатов и на улучшение способов строительства и эксплуатации малых ГЭС. Некоторые разработки прошли производственные испытания. Испытанная на реке Тургень деривационная роторная мини ГЭС с номинальной мощностью 3 кВт, при напоре 20 м и расходе 30 л/с с длиной трубопровода 500 м показала перспективность избранного направления и по затратам, и по энергетической производительности. Ориентировочно устанавливаются на горные и предгорные районы республики, где уклон русел рек превышает 50. По расчетным данным авторов разработка позволяет снизить себестоимость ГЭС с 350 – 700 долларов США/кВт до 100 – 250 долларов США/кВт при себестоимости 1 кВт/ч электроэнергии 0,05 – 0,4 цента США.

Следующие две разработки с названием «Малая деривационная гидроэлектростанция» и «Автономная малонапорная мини - ГЭС с прямоточной гидротурбиной» были исследованы по программе «Разработка чистых источников энергии Республики Казахстан на 2013-2017 годы в рамках ЭКСПО-2017» и их конструкции предложены для демонстрации на выставке ЭКСПО-2017 . Первое техническое решение удостоено также сертификата и медали Всемирной Организации Интеллектуальной Собственности (WIPO), как лучшее изобретение 2012 года. Новизной является усовершенствование узла водообеспечения

## *Продолжение приложения Д*

существующих малых ГЭС с использованием гидроциклонных пескоулавливателей интенсивного действия упрощенной конструкции. Это снижает затраты на строительства узла водоочистки от 30 (существующего) до 7 процента. Опытный образец гидроциклона с диаметром 700 мм апробирован в производственных условиях, он показал степень очистки воды от мехпримесей до 96-98 процентов. Установленная мощность одной используемой ГЭС с гидроциклонами составляет 3-10 Мвт. Расчетная годовая выработка электроэнергии достигает до 4,0 - 5,0 млн. кВт·ч.

Преимуществом второй разработки можно назвать упрощение конструкции и повышение надежности работы агрегата, работающего в составе малой ГЭС. Такой результат достигнут за счет наличия турбины, которая выполнена из цилиндрической трубы. Внутри этой турбины расположены пластины с возможностью плавного обтекания потоком.

В 2013-2015 годах по государственному заказу разработана конструкция и изучены параметры изобретение «Малая коллекторно - канализационная гидроэлектростанция». Оно, в отличие от других, предназначено для преобразования энергии очищенных сточных вод из городских канализационно-очистных сооружений в электрическую. Результаты исследования подтверждают работоспособность спроектированного испытательного стенда и опытного образца.

В изобретении «Гидротурбина с самоориентирующимися лопастями» возможность самоориентации лопастей достигается тем, что в гидротурбине основание выполнено в виде коробчатого лотка с боковыми стенками разной высоты. При этом рабочее колесо снабжено двумя плоскими боковинами одинаковой формы и размеров, имеющими по четыре крестообразных выступа. Это способствует улучшению работы рабочего колеса .

Новая разработка с названием «Гидротурбина Элемсак» обеспечивает возможность максимально использовать кинетическую и потенциальную энергию воды. Это, в свою очередь, позволяет увеличивать не только мощность, но и надежность при эксплуатации ГЭС. Увеличение коэффициента использования энергии воды осуществляется за счет поступления воды из первого направляющего лопатка на первую турбину, ударяется и приводит ее во вращение. Далее отраженная от рабочих лопаток вода поступает на вторую направляющую лопатку и приводит во вращение вторую турбину.

## Приложение Е

### Оценка работы мини - ГЭС с мощностью до 50 кВт

Согласно ряду исследований, валовой гидропотенциал Казахстана ориентировочно оценивается в 170 млрд кВт/ч в год, технически возможный к реализации – 62 млрд, а используется пока только 7,4 млрд кВт/ч в год. Сейчас доля ГЭС в структуре генерирующих мощностей Казахстана составляет порядка 12,3 процентов, что значительно меньше, чем в экономически развитых странах. При этом порядка 68 процентов генерирующих мощностей гидроэлектростанций отработали более 30 лет.

Для целей заявленных в начале к стационарным отнесены ГЭС деривационного типа т.е. такие ГЭС, где падающая вода подводящаяся к энергоустановке по водоводу образует ветвь потока с перепадом высот. Вверху по течению устраивается канал с уклоном меньшим, чем уклон основного потока. При перепаде высот достаточном для выработки необходимой мощности (или по другим ограничениям) поток передаётся в напорный водовод, соединенный с турбинной камерой, в которой энергия воды переходит в энергию механического вращения вала генератора электрической энергии.

Для повышения КПД установки и более полного использования энергии потока предлагается устройство с вращающейся вставкой и вынесенным за пределы потока генераторной установкой по рисунку Е.1.

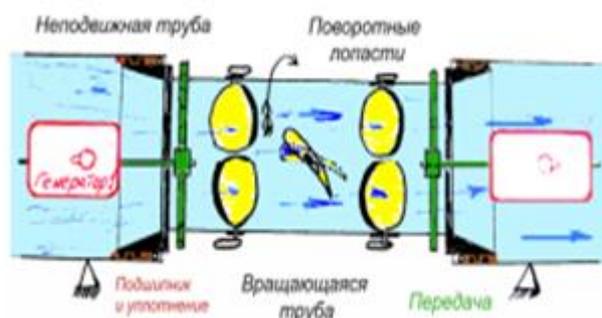


Рисунок Е.1 - Устройство для полного использования энергии потока

Такое расположение энергоустановки позволяет использовать водную энергию в напорных водоводах каскадно, без изменения направления потока то есть более просто. Уплотнения вращающейся вставки составляют российское новшество. Мощность установки такого рода до 50 кВт в зависимости от мощности потока, и потребности пользователя. Ранее был дан расчёт мощностей потока в зависимости от скорости течения для элементарной струи и аналитическая формула по которой легко рассчитывается мощность по потоку проходящего через поперечное сечение.

## Приложение Ж

### Программы поддержки использования мини - ГЭС

В целях развития использования мини - ГЭС и других Возобновляемых источников энергии, Программа Развития ООН совместно с Глобальным Экологическим Фондом оказывает помощь местным сообществам и НПО, выделяя Малые гранты поддержки подобных проектов .

Контактные адреса: Программа Малых Грантов Глобального Экологического Фонда (ПМГ/ГЭФ) ПРООН , г.Бишкек , ул. Киевская - 96 б, 4 этаж, правый корпус, тел. (312) 623695,625704. E-mail: [geflife@elcat.kg](mailto:geflife@elcat.kg), [sgpoffice@elcat.kg](mailto:sgpoffice@elcat.kg). Веб-сайт: <http://gef.undp.kg>

Общественная организация «Активист Иссык-Куля» выделяет льготную техническую поддержку конечным пользователям (фермеры, предприниматели) из Бюджета Револьверного Фонда для приобретения микро ГЭС.

Контактные адреса: НПО «Активист Иссык-Куля», г. Каракол, ул. Гебзе,110 а дел. (03922) 551 1 1. E-mail: [NPO-AIK@mail.ru](mailto:NPO-AIK@mail.ru)

Совместное Кыргызско-Норвежское ОсОО «Демонстрационная зона энерго и водозэффективности» выделяет льготную техническую поддержку конечным пользователям(фермеры, предприниматели) из Бюджета Револьверного Фонда для приобретения микро ГЭС.

Контактные адреса: ОсОО «Демонстрационная зона энерго и водозэффективности» , г.Бишкек, ул. Ахунбаева -119, 3 этаж, к.318, тел. (312) 510584, 510371. E-mail: [onurdin@mail.ru](mailto:onurdin@mail.ru)

## Приложение И

Продланная работа в сфере изучения мини – ГЭС (публикации и выступления)



«Евразийское Научное Объединение» • № 2 (48) • Февраль, 2019

Содержание

СОДЕРЖАНИЕ	
<b>ФИЛОСОФСКИЕ НАУКИ</b>	<b>Исодулов А.Р., Саидова О.Ж., Сидорова Ф.Г.</b> Проблемы государственной политики в области энергетики ..... 215
<b>Арыпбаева К.Б.</b> Методические проблемы информатизации образования ..... 262	<b>Турсунова Э.Д., Рахимбаев Е.Н., Абдулалова К.К.</b> Модернизация системы государственной службы и кадрового управления в Республике Казахстан ..... 317
<b>Рыкова М.М.</b> Системные факторы роста в постиндустриальном обществе ..... 254	<b>Тычина О.Л.</b> Методический аспект подготовки педагогической деятельности ..... 321
<b>ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ</b>	<b>КУЛЬТУРОЛОГИЯ</b>
<b>Абдулова Б.С., Асанова Ю.О.</b> Место журналистики в современном мире ..... 208	<b>Хуаго Ф.Н.</b> Этническая идентичность: значение и основы теории ..... 305
<b>Автеюсян Л.Н.</b> Семантический анализ филологической терминологии ..... 291	<b>ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ</b>
<b>Газизуллина Л.Р.</b> Актуальность изучения учебной деятельности ..... 260	<b>Наркеева Н.Ж., Темірбек уулу Илхамов, Жантөреова К.К.</b> Влияние окружающей среды на развитие культуры и экономики ..... 307
<b>Колпабаева А.Т., Кизилова А.Т.</b> Тема «Мир» в учебнике географии ..... 265	<b>СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ</b>
<b>Леонова А.Ю.</b> Лингвистический анализ терминов в области лингвистики ..... 299	<b>Зубова Е.В., Новоселов А.С.</b> Влияние окружающей среды на развитие культуры и экономики ..... 307
<b>Согомонян М.Р., Автеюсян Л.Н.</b> История географии-социологии в мире ..... 265	<b>Мунарова З.Ф.</b> Влияние окружающей среды на развитие культуры и экономики ..... 307
<b>ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ</b>	<b>ПОЛИТИЧЕСКИЕ НАУКИ</b>
<b>Ильина В.А., Драгайцев Д.В.</b> Психология личности и социализация ..... 306	<b>Душаналиев Ч., Аламанов С.К.</b> История развития административной системы Казахстана ..... 210
<b>Панкова Т.В.</b> Восприятие информации детьми с ЗПР ..... 307	<b>Душаналиев Ч.</b> Государственная политика в области культуры ..... 212
<b>НАУКИ О ЗЕМЛЕ</b>	
<b>Добрынина А.А., Герман В.И.</b> Демографические процессы в Казахстане ..... 212	

Рисунок И.1- Публикация при участии на Международной научной конференции (Евразийское Научное Объединение)



Рисунок И.2 – Сертификат за участие в Международной конференции «Казахстанско-Немецкое сотрудничество в области энергоэффективности и ВИЭ»