

УДК: 621.22:621.224:621.311.212-022.53

Медеров Т.Т.*к.т.н., доцент Кыргызского госуд. техн. универ., Кыргызская Республика***Акпаралиев Р.А.***к.т.н., доцент Кыргызского госуд. техн. универ., Кыргызская Республика*

ГИДРОЭНЕРГЕТИКАНЫН ПОТЕНЦИАЛЫНА ЖАНА МИКРОГЭС ҮЧҮН ТУРБИНАЛЫК СИСТЕМДЕРГЕ СЕРЕП

Бул жумушта микрогидроэлектростанциялардын гидротурбиналык системалары изилдөөнүн предмети катары каралган, ошондой эле гидроэнергетикалык потенциалга жана аларды өнүктүрүү мүмкүнчүлүктөрүнө көп көңүл бурулган. Социалдык-экономикалык чөйрөдө электр энергиясынын мааниси чоң. Гидроэнергетика энергиянын калыптанма булактарынын эң ылайыктуу жана эффективдүүсү болуп саналат, электр энергиясын өндүрүүдө бир кылымдан ашык тажрыйбасы бар. Гидроэлектростанциялары классификацияланган эки негизги критерий – бул кубаттуулук жана анын түзүлүшү. Кубаттуулук шкаласы боюнча: ири, чакан жана микро гидроэлектростанциялар. Түзүлүшү боюнча: суу сактагычы бар плотиналык, нуктук, гидроаккумуляциялык, агымдык. Изилдөөнүн максаты гидроэнергетиканын потенциалын, ошондой эле гидротурбиналардын ар кандай конструкцияларын карап чыгуу жана талдоо болгон. Гидротурбиналардын ар кандай түрлөрү изилденген. Кичи жана микрогидроэлектростанциялар үчүн гидротурбиналардын классификациясы берилген. Гидравликалык турбиналардын жалпы сүрөттөлүшү, алардын элементтери жана мүнөздөмөлөрү берилген. Ар кандай аз кубаттуулуктагы гидроэлектростанциялар үчүн ылайыктуу гидротурбинага сунуштар берилген.

***Негизги сөздөр:** гидроэнергетика; гидротурбина; гидроэлектростанция; иштеп чыгуу; потенциал; микрогидроэлектростанция; басым; агымдын көлөмү; кубаттуулук.*

ОБЗОР ПОТЕНЦИАЛА ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ И ТУРБИННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МИКРОГЭС

В данной работе предметом исследования являются гидротурбинные системы для микро гидроэлектростанций, а также большое внимание уделяется гидроэнергетическому потенциалу и возможности их освоения. Электроэнергия имеет важное значение в социально-экономической сфере. Гидроэнергетика является одним из наиболее подходящих и эффективных источников возобновляемой энергии, которая обладает более чем столетним опытом выработки электроэнергии. Мощность и конструкция – это два основных критерия, по которым классифицируются гидроэлектростанции. По шкале мощности: крупная, малая и микрогидроэнергетика. По конструкции сооружения плотинные с водохранилищем, русловые, гидроаккумулирующие, поточные. Целью исследования является обзор и анализ потенциала гидроэнергетики, а также различных конструкций гидротурбин. Изучены различные типы гидравлических турбин. Дана классификация гидротурбин для малых и микрогидроэлектростанций. Представлены общие описания гидротурбин, их элементов и характеристик. Предлагаются рекомендации по подходящей гидротурбине, для различных гидроэлектростанций малой мощности.

***Ключевые слова:** гидроэнергетика; гидротурбина; гидроэлектростанция; выработка; потенциал; микрогидроэлектростанция; напор; расход; мощность.*

A REVIEW ON POTENTIAL OF HYDROPOWER AND TURBINE SYSTEMS FOR MICRO HYDRO POWER PLANTS

In this article, the subject of research is hydro turbine systems for micro hydroelectric power plants, and much attention is paid to the hydropower potential and the possibility of their development. Electricity is important in the socio-economic sphere. Hydropower is one of the most suitable and efficient renewable energy sources with over a century of experience in generating electricity. Capacity and construction are the two main criteria by which hydropower plants are classified. On the scale of power: large, small and micro hydropower. By design: dam structures with a reservoir, run of river, pumped storage, in stream. The purpose of the study was to review and analyze the potential of hydropower, as well as various designs of hydro turbines. Various types of hydraulic turbines have been studied. The classification of hydraulic turbines for small and micro hydroelectric power plants is given. General descriptions of hydraulic turbines, their elements and characteristics are presented. Recommendations are made for a suitable hydro turbine for various small hydro power plants.

Key words: *hydropower; hydro turbine; hydroelectric power station; production; potential; micro-hydroelectric power station; head; flow rate; power.*

Гидроэнергетика предлагает значительный потенциал для сокращения выбросов углерода. По отчетам Международной ассоциации гидроэнергетики (ИНА) установленная мощность гидроэнергетики к концу 2020 года обеспечивала 16,8 % мирового электроснабжения, а глобальная установленная гидроэнергетическая мощность достигла 1330 ГВт. Гидроэнергетика остается крупнейшим источником возобновляемой энергии в электроэнергетическом секторе. Гидроэнергетика является технически зрелой и экономически конкурентоспособной согласно с текущими рыночными ценами на электроэнергию.

Гидроэнергетика имеет один из лучших коэффициентов преобразования среди всех известных источников энергии (КПД около 90%) [1]. Он требует относительно высоких начальных вложений, но имеет длительный срок службы при очень низких затратах на эксплуатацию и техническое обслуживание. Основными типами гидроэнергетических установок являются: русловые, водохранилищные, гидроаккумулирующие (ГАЭС) и поточные технологии. Во всем мире нет единого мнения о классификации гидроэлектростанций (ГЭС) по установленной мощности (МВт) из-за разницы в политике развития в разных странах.

Общий мировой технический потенциал для производства гидроэлектроэнергии составляет 14576 ТВтч/год с соответствующей установленной мощностью 3721 ГВт, что примерно в три раза превышает текущую установленную мощность. Существует значительный потенциал для доработки существующей инфраструктуры, в которой в настоящее время отсутствуют генерирующие агрегаты такие как уже существующие плотины, дамбы или каналы и т.д. Из существующих 45000 крупных плотин только 25% используются для гидроэнергетики, а остальные 75% используются для других целей (например, ирригация, борьба с наводнениями, навигация и схемы городского водоснабжения) [1].

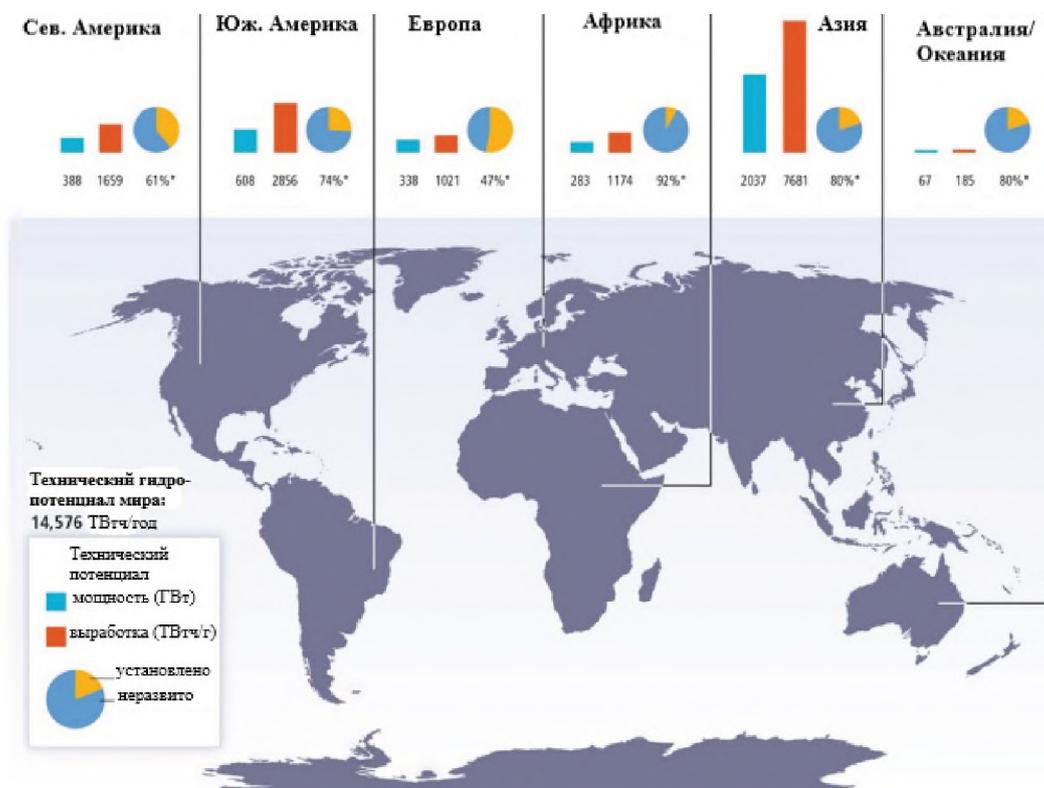


Рисунок 1 - Технический потенциал гидроэнергетики региона с точки зрения годовой выработки и установленной мощности (Источник: IJHD)

Международный журнал по гидроэнергетике и плотинам (IJHD) предоставляет данные, наиболее полную инвентаризацию текущей установленной мощности и годовой выработки

гидроэнергетики, а также потенциала гидроэнергетических ресурсов. Атлас отображает три показателя гидроэнергетического потенциала, все с точки зрения годовой выработки (ТВтч/год): теоретический валовый, технически и экономически осуществимый. Технический потенциал с точки зрения годовой выработки и расчетной мощности для шести регионов мира показаны на рисунке 1, и приведены в таблице 1.

Представленные на рисунке диаграммы позволяют сравнить текущую годовую выработку с техническим потенциалом для каждого региона и процент неразвитого потенциала по сравнению с общим техническим потенциалом. Эти круговые диаграммы показывают, что процент неразвитого потенциала колеблется от 47% в Европе и Северной Америке, до 92% в Африке, что указывает на большие возможности для развития гидроэнергетики во всем мире [1,3].

Таблица 1 – Технический потенциал шести регионов мира

Регионы мира	Технический потенциал, годовая выработка ТВтч/год	Технический потенциал, установленная мощность ГВт
Северная Америка	1659	388
Южная Америка	2856	608
Европа	1021	338
Африка	1174	283
Азия	7681	2037
Австралия/Океания	185	67
Мир	14576	3721

На рисунке 1 есть несколько примечательных особенностей данных. Северная Америка и Европа, которые разрабатывают свои гидроэнергетические ресурсы более века, все еще обладают достаточным техническим потенциалом для удвоения выработки гидроэнергии, что противоречит представлению о том, что гидроэнергетические ресурсы в этих развитых частях мира исчерпаны. Азия, Южная Америка и Австралия с Океанией обладают сравнительно большим техническим потенциалом, но доля неразвитого общего технического потенциала в этих регионах довольно высока. Африка обладает большим техническим потенциалом и может в 11 раз увеличить производство гидроэлектроэнергии.

Кыргызстан имеет большое количество крупных и средних рек, обладающих значительным гидроэнергетическим потенциалом, которые оцениваются в порядке 140-170 ТВ тч (технический), а экономический - 60 млрд. кВтч. и обладает около 30% гидроэнергетических ресурсов всего центральноазиатского региона. Ближайшие цели по реализации потенциала включают в себя строительство оставшихся двух гидроагрегатов мощностью каждой по 120 МВт на Камбаратаинской ГЭС-2. Долгосрочные планы по развитию является строительства Камбаратинской ГЭС-1 с мощностью 1860 МВт, Верхненарынского каскада из восьми ГЭС мощностью 529,5 МВт, Куланакского каскада из пяти ГЭС мощностью 439 МВт, Казарманского каскада из четырех ГЭС мощностью 1160 МВт, Средненарынского каскада из 2-х ГЭС мощностью 2220 МВт, Суусамыр-Кокомеренского каскада из трех ГЭС мощностью 1305 МВт, каскада на р. Атбаши состоящей из шести ГЭС мощностью 172,2 МВт, на р. Алабуке из четырех ГЭС мощностью 414 МВт, на р. Чаткал 1800 МВт, каскада Сары-Джазских ГЭС из шести ГЭС мощностью 1100 МВт и малых ГЭС в количестве 63 единиц с общей мощностью 258 МВт [2].

Если строительство больших ГЭС требует больше времени, усилий и затрат, то для создания и интеграции схем малой гидроэнергетики требуется гораздо меньше, особенно в отдаленных районах, где другие источники энергии нежизнеспособны или экономически не привлекательны, тем более в условиях Кыргызстана, где большую часть территории занимают горы, и где много мелких речушек развитие малых и микроГЭС имеет большое социально-экономическое значение. На микроГЭС эффективность выработки электроэнергии может достигать 90% [4]. Гидравлические турбины вырабатывают очень надежную энергию с очень

простой конструкцией. Турбины бывают двух типов: активные и реактивные, каждая из которых подходит для различных типов водяного потока. При расчете новых лопастных систем, где следует определить геометрические размеры, используется обратная задача теории решеток. В общем виде для вязкой жидкости задача решается уравнением Навье – Стокса движения вязкой несжимаемой жидкости [7]

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } \bar{p} + \nu \nabla^2 \vec{g} \quad (1)$$

Для плоской задачи в проекциях по осям координат упомянутое выше уравнение запишется в виде

$$\begin{aligned} \frac{dv_x}{dt} &= E_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 g_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g_x}{\partial y^2} \right) \\ \frac{dv_y}{dt} &= E_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 g_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g_y}{\partial x^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

На рисунке 2 показаны различные типы гидротурбин.



Рисунок 2 – Классификация гидротурбин для гидроэлектростанций класса микро



Рисунок 3 - Активные турбины:
а - Ковшова турбина Пелтона; *б* - Турбина Тьюрго.

Активные типы. В турбине Пелтона, показанной на рисунке (3а), водяные струи из сопел ударяют по ковшам, расположенным по окружности рабочего колеса, заставляя колесо

вращаться. Колесо Пелтона имеет одну или несколько сопел. Данный тип гидротурбин отлично подходит для высоких напоров и низких расходов. В последнее время турбины Пелтона активно применяются для малых и микроГЭС. Для таких систем обычно используется одиночная водяная струя [5].

В 1920 году компания Gilbert Gilkes Ltd изобрела турбину Тюрго рисунок (3б) [5]. Они обычно используются в качестве активных турбин с высоким и средним напором, но в последнее время они могут использоваться для всех категорий напоров от 3 до 150 м. Турбина Тюрго может справляться со значительно более высокими расходами воды, обеспечивая эффективную работу в более низких диапазонах напора, поскольку он может вырабатывать значительную мощность за счет использования большего количества воды при меньшем напоре.

Турбина с поперечным потоком Банки-Митчела и Оссбергера имеет форму барабана и использует удлиненное сопло прямоугольного сечения, направленное против изогнутых лопастей на рабочем колесе цилиндрической формы. Турбина с поперечным потоком позволяет воде дважды проходить через лопасти. Во время первого прохода вода течет с внешней стороны лопастей внутрь, а второй проход - изнутри обратно наружу [5]. Эти типы турбин могут использоваться как в горизонтальном, так и в вертикальном положении (рисунок 4).

Реактивные типы. Турбина Фрэнсиса (РО-радиально-осевые, рисунок 5) имеет рабочее колесо с фиксированными лопастями. У них нет сопел, лопасти радиально выступают от периферии рабочего колеса. Вода в рабочее колесо поступает радиально вокруг него, а затем выходит по оси, заставляя его вращаться. Данная турбина генерирует мощность за счет комбинированного действия давления и движущейся воды. При низкой рабочей скорости эффективность таких турбин лучше, чем активных турбин. Помимо рабочего колеса, основными компонентами являются спиральная камера, направляющий аппарат и отсасывающая труба. Турбины Фрэнсиса имеют хорошие характеристики для микрогидроэлектростанций [5].

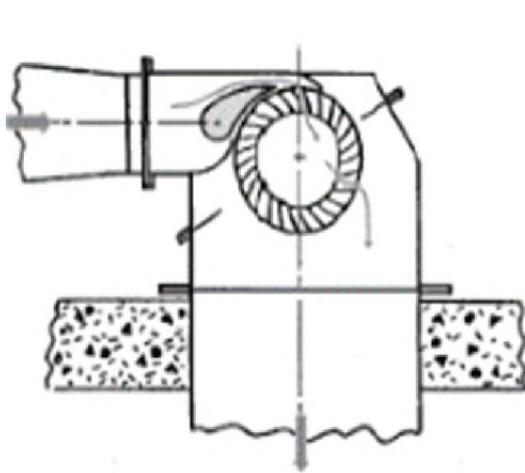


Рисунок 4 – Турбина Банки

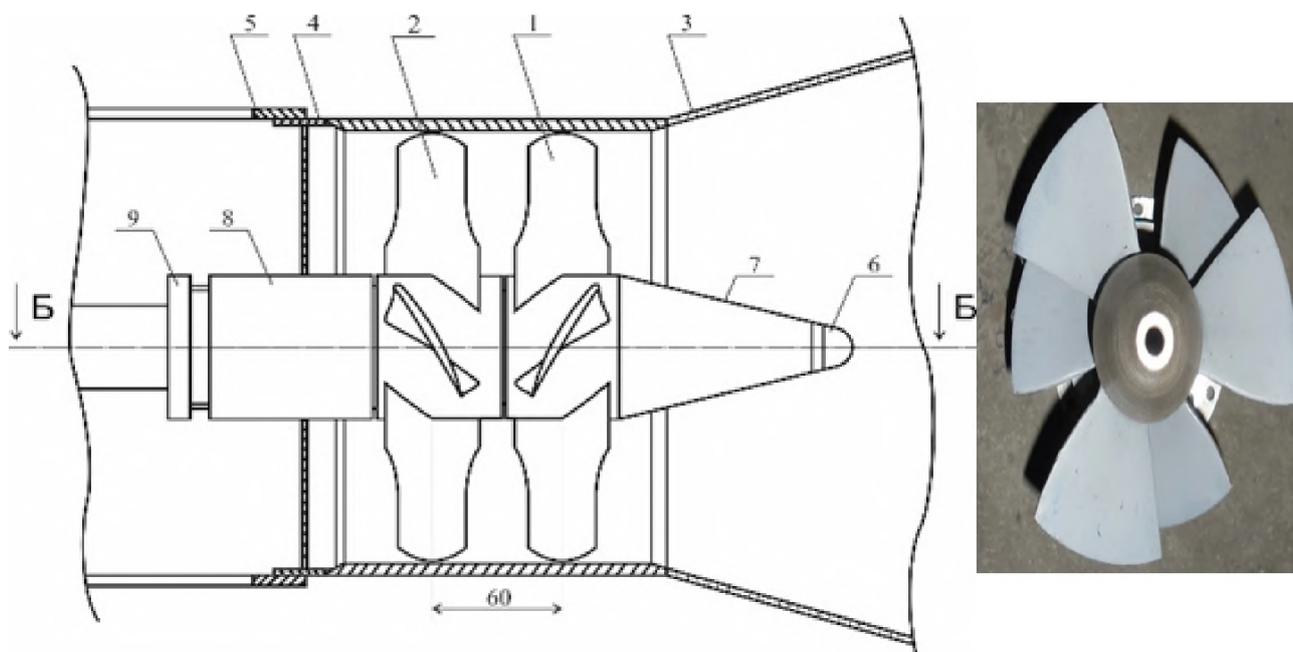


Рисунок 5 - Турбина Фрэнсиса (радиально-осевая)

Пропеллерная турбина обычно имеет рабочее колесо с тремя-шестью лопастями, в которые вода попадает непрерывно с постоянной скоростью. Шаг лопастей может быть фиксированным или регулируемым. Конструкция пропеллерной турбины изначально была мотивирована необходимостью разработки высокоскоростных машин для использования в ситуациях с относительно низким напором, когда было бы неэкономично использовать РО турбину. Виктор Каплан (1876-1934), понял, что изменение шага лопастей может сделать турбину с большим диапазоном применения. В 1913 году Каплан разработал пропеллерную турбину с регулируемым шагом, турбину Каплана (ПЛ-поворотные-лопастные). С тех пор рабочий напор турбины Каплана был увеличен. Рабочее колесо турбины Каплана гидравлически аналогично рабочему колесу пропеллерной турбины, за исключением того, что ступица больше, чтобы вмещать механизм для изменения угла наклона лопастей. В микроГЭС применяется осевая гидротурбина

с низким напором в диапазоне от 1 м до 5 м [5].

На рисунке 6 показана схема бироторной гидротурбины для микроГЭС. Принцип её работы заключается в том, что в одном гидравлическом потоке работают два рабочих колеса, которые расположены на одной оси один за другим и вращаются, при этом в разные стороны относительно друг к другу. Гидротурбина 1 и гидротурбина 2 соединены с ротором и соответственно со статором генератора через вал, где вал одной гидротурбины располагается внутри вала другой гидротурбины. Вращение статора и ротора в противоположные стороны обеспечивает увеличение частоты пересечения магнитным полем электрической обмотки гидрогенератора [6-7].



1 и 2 – лопасти турбины; 3 – подводящий трубопровод; 4 – корпус рабочей камеры; 5 – корпус генератора; 6 – гидравлический рассекатель; 7 – наконечник; 8 – втулка; 9 – муфта.

Рисунок 6 – Бироторная гидротурбина

Другие типы. Мельница Баркера, схематически изображенная на рисунке 7, была первой реактивной турбиной с гидравлическим приводом и была изобретена примерно в 1740 году, и эта машина была дополнительно усовершенствована Пупилом в 1775 году, и Уайтлоу в 1839 году. Одним из усовершенствований этой турбины является подача воды в нижнюю часть ротора. Подавая воду в турбину снизу, направленное вверх действие статического давления поступающей питательной воды можно использовать для противодействия направленной вниз гравитационной силе на движущиеся части, тем самым уменьшая осевую нагрузку на подшипники, поддерживающие движущиеся части [5, 8, 9].

Турбина из разрезанной трубы представлена на рисунке 8. Идея реактивной турбины с разрезанной трубой берет истоки из ветряной турбины Савониуса. Турбина изготавливается путем разрезания пластиковой трубы на две половины, а затем смещения центров и соединения верхней и нижней пластин. В [5,9,11] представлены рабочие характеристики простой гидротурбины из разрезанной трубы для выработки электроэнергии.

Кинетические, безнапорные гидротурбины рисунок 9, используют кинетическую энергию в водных потоках для производства электроэнергии, а не потенциальную энергию напора [10-12]. Они могут работать в реках, каналах, приливных водах или океанских течениях. Кинетические системы используют естественный путь проточной воды, поэтому они не требуют отвода воды через искусственные каналы, русла рек или трубы. На одном потоке можно последовательно разместить множество таких микроГЭС.

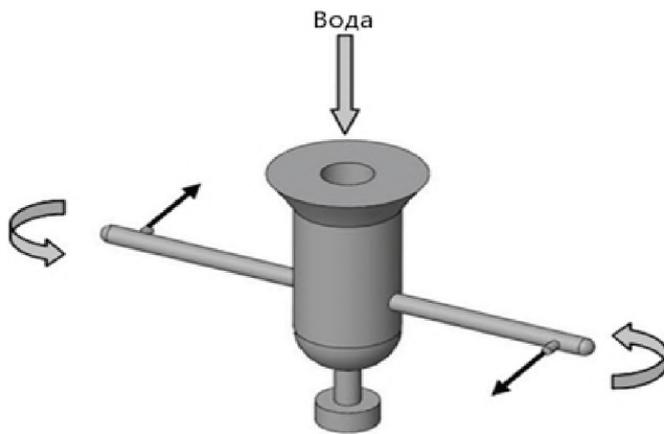


Рисунок 7 – Мельница Баркера.



Рисунок 8 - Турбина из разрезанной трубы

Высокоэффективный архимедов винт для выработки электроэнергии рисунок 10. Обеспечивает естественный сток реки и безвреден для рыб. Один из нескольких систем, которые могут поддерживать или даже улучшать дикую природу в реке и вокруг нее. Гидроэнергетический винт использует падающую воду проходящего через него для вращения винта. Вращающийся винт соединяется с генератором через редуктор для выработки электроэнергии. Винт Архимеда применяют как микроГЭС и подходит для участков с низким напором (1 м), и большим расходом [7].



Рисунок 9 – Безнапорная гидротурбина



Рисунок 10 -Гидроэнергетический винт

Выводы:

1. Произведен обзор гидроэнергетического потенциала, гидроэнергетических систем и технологий, а также их турбин;
2. Гидроэнергетика является возобновляемым источником энергии, которая имеет большое значение для глобальных коммерческих, экономических и экологических проблем;
3. Изучены различные типы гидравлических турбин. В нем представлены общие описания турбинных систем, а также различных компонентов и характеристик;
4. Из приведенного выше исследования можно дать рекомендации по подходящей гидротурбине, которые можно использовать в различных проектах микроГЭС.

Список литературы:

1. Kumar, A. Hydropower. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [Текст] / A.Kumar, T. Schei, A. Ahenkorah, R. Caceres Rodriguez // Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2011.

2. Министерство энергетики Кыргызской Республики: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Бишкек. – Режим доступа: <http://www.mep.kg/> (дата обращения: 12.12.2021).
3. ВР, British Petroleum Statistical Review of World Energy.- London: UK, 2021.- 70 pp.
4. Медеров, Т.Т. Микрогидроэлектростанция с использованием гидроворонки [Текст] / Т.Т. Медеров, А.Дж. Обозов, Женишбек у. К. // Матер. НТК Молодой ученый – вызовы и перспективы.- Б.: Библиография, 2017.- С. 285–290.
5. Yasser, M. Ahmed et al. A Review on Micro Hydro Gravitational Vortex Power and Turbine Systems [Текст] / M.Yasser, Ahmed // Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering),2014. - С. 1–7.
6. Пат. 1748 КР, МПК F03B13/00, F03B3/04. Микрогидроэлектростанция [Текст] / Т.Т. Медеров, А. Дж. Обозов, Р.А. Акпаралиев, Р.Э. Исаев, Р.М. Ботпаев.; Бишкек.– № 20140049.1; заявл. 08.05.2014 ; опубл. 30.06.2015, Бюл. № 6. – 8 с. : ил.
7. Медеров, Т.Т. Исследование и разработка бироторной микрогидроэлектростанции [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.14.08 / Т.Т. Медеров. - Бишкек, 2017. - 150 с.
8. Abhijit, Date. Investigating the Potential for Using a Simple Water Reaction Turbine for Power Production From Low Head Hydro Resources [Текст] / Date Abhijit, Date Ashwin, Aliakbar Akbarzadeh // Energy Conversion and Management.- 2013.- Pp. 257–270.
9. Abhijit, Date . Design and Cost Analysis of Low Head Simple Reaction Hydro Turbine for Remote Area Power Supply [Текст] / Date Abhijit, Aliakbar Akbarzadeh // Renewable Energy,2009. – Pp. 409–415.
- 10.[Электронный ресурс]. <https://www.energovector.com/energoznanie-potochnye-ges.html> (дата обращения: 31.12.2021).
11. Пакирдинов, Р.Р. К созданию микроэлектростанций с вращающимися статором [Текст] / Р.Р. Пакирдинов, Б.Т. Кадырбекова, Р.Т. Осмонбеков // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2011. – №3,4. – С. 93 – 96.
12. Нурмаматов, А.Т. Микро ГЭСтеги колдонулуучу гидротурбиналар [Текст] / А.Т. Нурмаматов // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2013. – № 1. – С. 64 – 66.

DOI:10.54834/16945220_2022_2_22

Поступила в редакцию 25. 03. 2022 г.

УДК: 551.521.:528.913

*Акпаралиев Р.А.**к.т.н., доцент Кыргызского госуд. техн. универ., Кыргызская Республика**Медеров Т.Т.**к.т.н., доцент Кыргызского госуд. техн. универ., Кыргызская Республика**Обозов А.Дж.**д.т.н., профессор Кыргызского госуд. техн. универ., Кыргызская Республика**Ашимбекова Б.**аспирант Кыргызского госуд. техн. универ., Кыргызская Республика*

РЕСУРСТАР КАРТАСЫН ТҮЗҮҮҮ ҮЧҮН КҮН РАДИАЦИЯСЫНЫН МААЛЫМАТТАРЫН АНАЛИЗДӨӨ

Бул жумушта изилдөөнүн предмети болуп күн нурунун маалыматтары каралган. Жер үстүндөгү актинометриялык байкоолордун жана спутник аркылуу өлчөнгөн күн нурунун салыштыруу маалыматтары изилдөөнүн максаты болуп эсептелет. Ресурстук картаны түзүүдө күн нурунун көрсөткүчтөрү баштапкы маалыматтардын эң негизгилеринин бири болот. Бул жумушта жер үстүндөгү өлчөнгөн күн нурунун маалыматтары жана спутник аркылуу өлчөнгөн маалыматтары белгилүү бир орунда каралат. Белгилүү бир жыл үчүн күн радиациясынын мүнөздөмөлөрү берилген. Ошондой эле, таблица түрүндө маалыматтар. Ар кандай булактардан алынган күн радиациясынын маалыматтарына салыштырма анализ жасалган. Күн электр станциясын долбоорлоодо толук талдоо жана изилдөө жүргүзүү үчүн сунушталган рельефте күн радиациясынын жер үстүндөгү өлчөөлөрүн жүргүзүү зарыл экендиги аныкталды, бирок ресурстук карталар күүдүн потенциалдуу рельефине алгачкы алдын ала баа бере алат. Бул иштин анализинин негизинде Кыргыз Республикасы үчүн күн радиациясынын ресурстук картасын түзүүдө терең талдоо жана изилдөө керекизилдөө керек болгон так баштапкы өлчөнгөн маалыматтар керек экендиги аныкталган. Актинометриялык байкоолор менен күн ради-