



ВЫБОР ТУРБИН МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ВОДОТОКА

Р.О. Архипов, студент,
arkhipov.e36@gmail.com

М.С. Харитонов, канд. техн. наук, старший преподаватель,
engineeringlifestyle@gmail.com
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Рассмотрены общие вопросы оценки гидроэнергетического потенциала малой гидроэнергетики. Представлен обзор действующих малых гидроэлектростанций на территории России. Дан сравнительный анализ различных типов гидравлических турбин. Рассмотрены вопросы выбора гидравлических турбин для малых гидроэлектростанций.

гидроэлектростанция, малая гидроэнергетика, гидроэнергетический потенциал, гидравлическая турбина, напор, расход

Одними из основных современных тенденций в электроэнергетике являются развитие распределенной генерации и увеличение доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе. Так, в странах Европы планируется довести их долю до 20% к 2020 г., в том числе за счет использования малых ГЭС (МГЭС) [1].

Гидроэлектростанции небольшого размера позволяют сохранить ландшафт и окружающую среду на этапе строительства. При эксплуатации малых ГЭС отрицательное влияние на качество воды отсутствует, она полностью сохраняет природные свойства. Речная вода после прохождения через турбину остается пригодной для водоснабжения населения. В отличие от других видов возобновляемых источников энергии, малая гидроэнергетика практически не зависит от изменения погоды и способна обеспечить бесперебойную подачу электроэнергии потребителю.

К малой гидроэнергетике относятся различные гидроэнергетические сооружения с установленной мощностью до 25 МВт. Принципиальное отличие малой энергетики от обычной заключается в отсутствии необходимости сооружения крупных гидротехнических объектов, что упрощает строительство [2].

С учетом технических и технологических особенностей объектов малой гидроэнергетики, в частности отсутствия крупных водохранилищ и наличия ограничений по регулированию стока рек, к актуальным научным задачам при сооружении МГЭС относятся определение гидроэнергетического потенциала рек и выбор оптимальных характеристик гидравлических турбин по расчетным параметрам водотока.

Анализ методов оценки гидропотенциала показывает, что расчетный валовый потенциал (1) может быть использован только для приближенной оценки мощности перспективной МГЭС [3]. Фактическое значение мощности должно вычисляться на основе технического и экономического гидропотенциалов, характеризующих долю валового потенциала, которая может быть освоена, и быть технически и экономически целесообразно [4]:

$$N = \sum_{i=1}^n \left[g \cdot \left(\frac{Q_{ni} + Q_{ki}}{2} \right) \cdot H_i \right], \quad (1)$$

$$Q = q \cdot F, \quad (2)$$

где N – валовый потенциал, кВт;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 Q_{ni} и Q_{ki} – расход в начале и конце i -го участка реки, м³/с;
 H – падение реки на i -м участке (напор), м;
 q – осредненный по площади водосбора модуль стока, л/(с·км²);
 F – площадь водосбора, замыкаемая расчетным створом, км².

Так, анализ данных гидрологических исследований для объектов малой гидроэнергетики показывает, что технической гидропотенциал России составляет 357 млрд. кВтч, а экономический – лишь около 200 млрд. кВтч [5]. Однако использование данного потенциала реализовано не более чем на 1% [6].

В настоящее время на территории России функционирует около 110 МГЭС преимущественно приплотинного и деривационного исполнения. Результаты анализа технических характеристик ряда станций, включая показатели технического и экономического гидропотенциала, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Технические характеристики малых ГЭС

Наименование	Тип	Расположение	Расчетный напор, м	Расчетный расход, м ³ /с	Установленная мощность, МВт	Расчетная среднегодовая выработка, млн. кВтч	Число часов использования установленной мощности, ч	Количество агрегатов, шт.
Барсучковская МГЭС	Приплотинная	Водосброс Барсучковской ГЭС № 4	13,4	43,8	5,04	30,6	6113	3
Усть-Джегутинская МГЭС	Приплотинная	Большой Ставропольский канал	33,0	17,6	5,6	17,5	3495	2
Сенгилевская МГЭС	Деривационная	Невинномысский канал	44,6	25,0	10,0	37,8	3805	1
Новотроицкая ГЭС	Напорная деривация	р. Егорлык	21,8	15,85	3,68	14,9	5981	2
Правдинская ГЭС-3	Плотинно-русловая	р. Лава	13,5	95	1,14	9,67	4487	1
Кабардино-Балкария МГЭС-3	Напорная деривация	Канал Баксан-Малка	35,8	11	3,5	9,7	4670	1


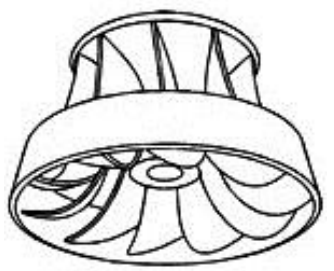
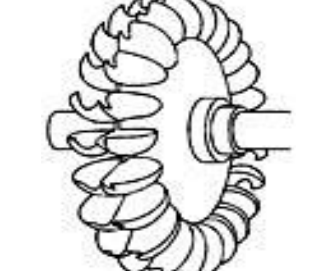
Калининградская область ввиду развитой речной сети также является благоприятным регионом для развития малой гидроэнергетики. В настоящее время в регионе функциониру-

ют две МГЭС: Озерская и Правдинская ГЭС-3 (табл. 1). Правдинская ГЭС-3 расположена на р. Лаве на расстоянии 54 км от устья реки, в Правдинском районе Калининградской области. Гидроэлектростанция была введена в эксплуатацию в 1926 г. и являлась одной из крупнейших на данной территории. Во время Великой Отечественной войны сооружения гидроузла были частично разрушены. После восстановления в 1946 г. гидроэлектростанция вновь была задействована и предназначалась для покрытия пиков нагрузки энергосистемы региона.

В настоящее время на Правдинской ГЭС-3 функционирует один агрегат мощностью 1,14 МВт (табл. 1). В связи с перспективой перехода энергосистемы Калининградской области в изолированный режим работы рассматривается возможность увеличения установленной мощности станции с реконструкцией гидроузла. В связи с этим актуальной научной задачей является оценка технического и экономического гидропотенциала и обоснование выбора типов гидравлических турбин.

Анализ конструкции и оборудования действующих МГЭС показывает, что с учетом малого напора или расхода воды (табл. 1) и как следствие малой мощности гидроагрегатов на МГЭС может применяться ограниченная номенклатура турбин. Технические характеристики наиболее распространенных турбин для МГЭС приведены в табл. 2. Путем обобщения характеристик составлена диаграмма, характеризующая области применения различных видов турбин (рис. 1).

Таблица 2 – Характеристики гидравлических турбин для малых ГЭС

Тип турбины	Поворотно-лопастные	Радиально-осевые	Ковшовые
Внешний вид			
Напор	От 1,5 до 85 м	От 10 до 700 м	От 70 до 1200 м
Мощность	От 0,2 кВт до 200 МВт	От 0,2 кВт до 500 МВт	От 0,3 до 350 МВт
Диаметр колеса	От 0,5 до 10 м	От 0,4 до 7,5 м	От 0,5 до 4 м

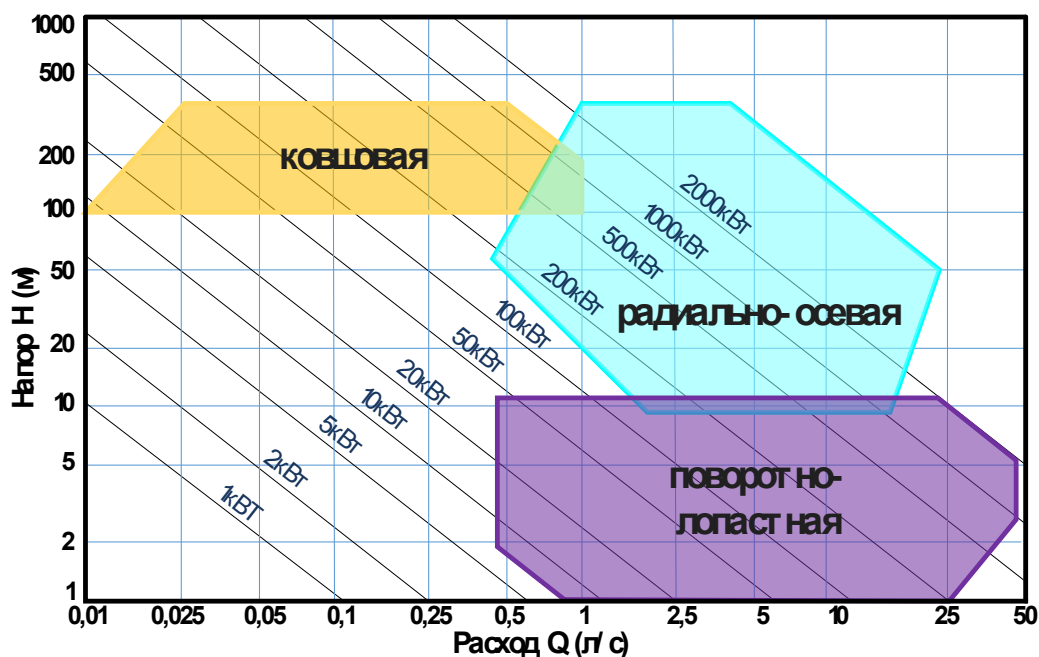


Рисунок 1 – Области применения гидротурбин в зависимости от параметров водотока

Проведенный анализ эксплуатационных характеристик турбин показал, что области их применения с точки зрения параметров водотока различаются. Поворотно-лопастные турбины имеют подвижные лопасти рабочего колеса, что позволяет максимально эффективно использовать энергию потока воды на низконапорных равнинных реках с сильными колебаниями уровней верхнего и нижнего бьефа.

Радиально-осевые турбины первыми были запущены в промышленное производство и на данный момент являются наиболее распространенным типом гидротурбин. Они обладают наиболее широким рабочим диапазоном напоров и в настоящее время используются преимущественно на высоких и сверхвысоких напорах от 40 до 700 м, где невозможно или нецелесообразно применять другие типы гидротурбин, а также максимально возможным КПД до 97% в широком диапазоне напоров.

Ковшовые гидротурбины применяются при небольших расходах воды на высоких и сверхвысоких напорах до 1200 м, не достижимых для других типов турбин, как правило, в горной местности.

Анализ нормативных документов показывает, что технико-экономическое обоснование выбора типа турбин для МГЭС по их пропускной способности, скорости вращения ротора и способности развивать максимальную мощность осуществляется на основе приведенных величин: расхода Q'_1 (3) и частоты вращения n'_1 (4) (эквивалентных турбине, работающей при напоре $H=1$ м и имеющей диаметр на входе в рабочее колесо $D_1=1$ м) [7]:

$$Q'_1 = \frac{Q}{D_1^2 \sqrt{H}}; \quad (3)$$

$$n'_1 = \frac{n D_1}{\sqrt{H}}, \quad (4)$$

где Q – расчетный расход, м³/с;
 H – расчетный напор, м;
 D_1 – диаметр рабочего колеса турбины, м;
 n – частота вращения, об/мин.

Полное представление об энергетических, эксплуатационных параметрах гидравлической турбины во всех режимах ее работы дает универсальная характеристика, представляющая собой семейство кривых равных значений КПД в координатах приведенной скорости вращения n'_1 и приведенного расхода Q'_1 . Пример универсальной характеристики для определения синхронной частоты вращения ротора турбины, ее мощности, фактического значения КПД лопастных систем приведен на рис. 2.

Подбор гидротурбины ведется по режимной точке, для которой расход Q и напор H являются расчетными. По отметке нормального подпорного уровня и кривой связи отметки нижнего бьефа с расходами воды в реке находится соответствующий расчетный напор. В зависимости от напора с учетом эксплуатационно-экономических показателей намечают типы возможных для применения гидротурбин в каждом конкретном случае [7].

В ходе исследований гидрологических особенностей рек Калининградской области было установлено, что ввиду равнинного характера ландшафта местности на реках не представляется возможности создания плотины с высоким нормальным подпорным уровнем. С учетом результатов проведенного анализа характеристик гидравлических турбин было установлено, что для Калининградской области предпочтительны турбины радиально-осевого и поворотного типа, характеристики которых соответствуют режимам водотока крупных рек Калининградской области.

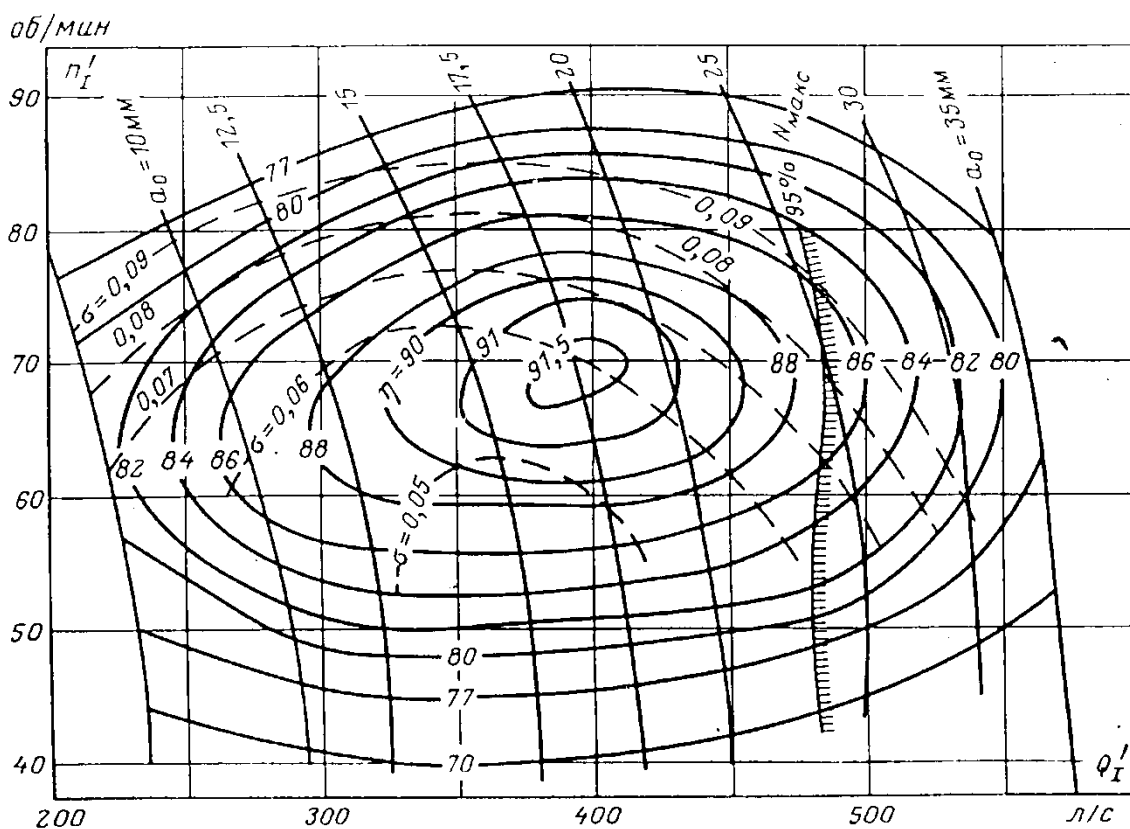


Рисунок 2 – Пример универсальной характеристики гидротурбины

В то же время с учетом перспектив развития энергосистемы региона представляется целесообразным использовать малые ГЭС в качестве высокоманевренных генерирующих мощностей для покрытия максимумов суточного графика нагрузки. Однако поскольку речная сеть Калининградской области характеризуется ограничениями по объему воды в верхнем и нижнем бьефах водохранилищ, то выбор турбинного оборудования должен производиться с учетом данных ограничений на суточное регулирование. В связи с этим проработка вопросов использования объектов малой гидроэнергетики для оптимизации режима энергосистемы Калининградской области является актуальной научной задачей для перспективной проработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колосовский, А.М. Оценка гидроэнергетического потенциала Калининградской области / А.М. Колосовский // Водопользование и задачи гидромеханики – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2009. – С. 44-49.
2. Великанов, Н.Л. Проблемы развития гидроэнергетики Калининградской области / Н.Л. Великанов // Вестник Российской Академии естественных наук [Текст] : сб. науч. тр., посвящ. 20-летию образования Рос. академии естеств. наук / ФГОУ ВПО "КГТУ", 2011. –196 с.
3. Разработка методологического обеспечения процесса автоматизированного вычисления гидроэнергетического потенциала рек с использованием геоинформационных систем / Н.В. Баденко [и др.] // Инженерно-строительный журнал. 2013. – №6(41). – С. 62–76.
4. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик.
5. Ясинский, В.А. Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в странах СНГ / В.А. Ясинский, А.П. Мироненков, Т.Т. Сарсембеков // Отраслевой обзор №14. – Алматы. 2011. – С.21-25.

6. Малая гидроэнергетика России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solarhome.ru/basics/hydro/> (Дата обращения: 14.02.2018).

7. Гидравлический расчет водопроводящих трактов гидроэнергетических установок: учеб.-метод. пособие / сост. С. В. Артемчук. – Минск: Изд-во МГЭУ им. Сахарова, 2010. – 102 с.

SELECTION OF TURBINES FOR SMALL HYDROPOWER PLANTS BY ANALYSIS OF WATER STREAM PARAMETERS

R.O. Arkhipov, student,
arkhipov.e36@gmail.com

M.S. Kharitonov, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,
engineeringlifestyle@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

General aspects of an estimation of a hydropower potential of small hydropower plants are considered. An overview of the existing Russian small hydropower plants is presented. A comparative analysis of different types of hydraulic turbines is given. The problems of choosing hydraulic turbines for small hydroelectric power stations are considered.

hydroelectric power station, small hydropower, hydro energy potential, hydraulic turbine, pressure