

УДК 621.224.7

РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИЧНЫХ ГИДРОАГРЕГАТОВ ДЛЯ НИЗКОНАПОРНЫХ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

© 2010 Ю.И. Николаенко¹, А.В. Тарасов¹, Г.И. Топаж²

¹ НПО «Ранд», г. Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Поступила в редакцию 22.03.2010

Разработан экономичный капсульный гидроагрегат (свободно-поточный или плотинный) для низконапорных малых ГЭС. Статор и рабочее колесо этого гидроагрегата имеют простые по форме лопастные системы. Выполнены расчетные исследования влияния формы технологически простых лопастных систем на энергетические характеристики низконапорного гидроагрегата для малых ГЭС.

Ключевые слова: гидроагрегат, малая гидроэлектростанция, лопасть

Разработка надежного и экономичного оборудования для малых ГЭС является актуальной задачей, имеющей большое практическое значение при строительстве и реконструкции гидроузлов. Большой практический интерес представляют реки России, на которых могут быть построены низконапорные малые ГЭС. Выполненные проектные проработки низконапорных малых ГЭС показывают, что из-за высокой стоимости гидротурбинного оборудования эти станции имеют низкую экономическую эффективность, в связи с чем возведение малых ГЭС напрямую зависит от удешевления стоимости гидроэнергетического оборудования. Отечественное гидромашиностроение не располагает необходимой номенклатурой турбин для ГЭС с малыми напорами (менее 5 м) или для безнапорных, бесплотинных ГЭС, которые используют кинетическую энергию водных потоков. Особого внимания заслуживают так называемые свободно-поточные микро-ГЭС, для работы которых не требуется создание статического напора с помощью дорогостоящих гидротехнических сооружений [1].

Как правило, при проектировании гидротурбинного оборудования малых низконапорных ГЭС основное внимание уделяется не столько получению высоких энергокавитационных показателей турбины, сколько созданию надежного и дешевого оборудования,

обеспечивающего заданную мощность. При этом в условиях малых перепадов между верхним и нижним бьефом нет необходимости в обеспечении высоких кавитационных показателей гидротурбины. Эти обстоятельства позволяют отказаться от дорогостоящих автоматизированных поворотно-лопастных конструкций направляющего аппарата и рабочего колеса и использовать сравнительно дешевую автоматизированную систему управления гидроагрегатом. Также в условиях малых низконапорных ГЭС целесообразно применять технологически простые в изготовлении лопастные системы гидротурбин, уменьшая тем самым трудоемкость и стоимость изготовления оборудования. Применение простых и технологичных в изготовлении лопастных систем приводит к некоторому снижению энергетических показателей гидротурбины, однако в каждом конкретном случае необходимо технико-экономическое обоснование конструкции лопастных систем на основе расчетной или экспериментальной оценки их гидравлических характеристик.

При разработке экономичного капсульного гидроагрегата для низконапорных малых ГЭС исходили из следующих условий:

- гидроагрегат может быть свободно-поточным или установленным в здании ГЭС низконапорного гидроузла;
- гидроагрегат имеет технологически простые в изготовлении лопастные системы, что определяет сравнительно небольшую трудоемкость и стоимость их изготовления;
- рабочее колесо гидротурбины пропеллерного типа с жестко закрепленными на втулке лопастями. В гидротурбине отсутствует

Николаенко Юрий Иванович, доктор технических наук, директор. E-mail: rund@delfa.net
Тарасов Алексей Вячеславович, инженер. E-mail: alekseytarasov@yandex.ru
Топаж Григорий Ицкович, доктор технических наук, профессор. E-mail: topaj@mail.ru

направляющий аппарат. Закрутка потока перед рабочим колесом создается колоннами статора, которые расположены на цилиндрическом участке капсулы;

- гидротурбина должна работать в широком диапазоне режимов с достаточно высокими энергетическими показателями. В частности, на всех рабочих режимах необходимо обеспечить бескавитационную работу гидротурбины, при этом коэффициент полезного действия гидротурбины не должен быть ниже, чем на 5% лучшего из существующих вариантов;

- в период эксплуатации регулирование выдачи мощности гидроагрегатом осуществляется с помощью балластной нагрузки.

Определения энергетических и кавитационных показателей разработанного капсульного гидроагрегата проводилось с помощью автоматизированного программного комплекса «ГРАНИТ» (АПК «ГРАНИТ»)[2].

Описание конструкции гидроагрегата «РАНД-1». В данной работе в качестве базового варианта рассматривается капсульный гидроагрегат с диаметром рабочего колеса D_1 [1]. Компоновка гидроагрегата горизонтальная с прямоосной отсасывающей трубой. Внутри корпуса гидроагрегата расположена капсула, удерживаемая растяжками. В капсуле располагаются гидрогенератор и мультипликатор. Рабочее колесо пропеллерного типа консольно насажено на вал, передающий крутящий момент на мультипликатор и генератор. Необходимая закрутка потока перед рабочим колесом создается изогнутыми колоннами статора, расположенными на цилиндрическом участке капсулы. Отвод воды после рабочего колеса осуществляется отсасывающей трубой.

Вал рабочего колеса установлен в подшипниках и вращается с частотой вращения, зависящей от напора H и равной $n \approx 300\sqrt{H}$. С помощью мультипликатора осуществляется увеличение оборотов на валу генератора до $n=1500$ об/мин. С целью уменьшения трудоемкости и стоимости изготовления гидротурбины рабочее колесо и статор имеют простые по форме и технологичные в изготовлении лопастные системы.

Статор гидротурбины представляет собой круговую решетку профилей. Он состоит из 16 колонн, приваренных к капсуле и наружному контуру проточной части гидротурбины. Статор служит для передачи нагрузок от веса вращающихся частей, восприятия осевого гидравлического усилия, возникающего при обтекании потоком лопастных систем, а также для создания закрутки потока перед рабочим колесом. Колонны статора цилиндрические, имеют одинаковую технологически простую в изготовлении форму поперечных

сечений. В качестве заготовки в данном случае используется сектор цилиндрической трубы толщиной $\delta_{тр}$ и наружным радиусом $R_{тр}$. К указанному сектору приваривается плоская стальная пластинка длиной $L_{пл}$ и толщиной $\delta_{пл}$, которая в районе выходной кромки статора уменьшается до толщины $\delta_{пл.вых}$ (рис. 1). В данной работе рассматривалось несколько вариантов формы сечений колонны статора с различными углами α между плоским выходным участком колонны статора и плоскостью, нормальной к оси вращения турбины.

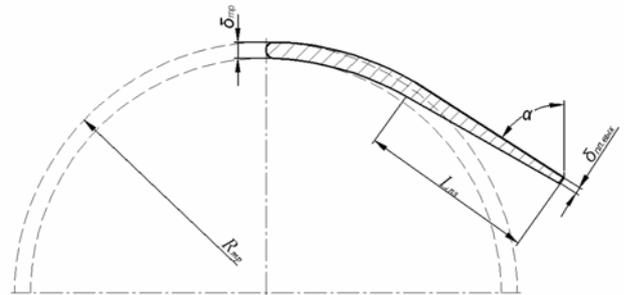


Рис. 1. Сечение колонны статора

Рабочее колесо состоит из цилиндрической втулки радиусом $R_{вт}$ и 4 лопастей. В зависимости от заданных значений расхода, напора и мощности ГЭС предусмотрена возможность установки лопастей рабочего колеса на различные углы. Лопасть рабочего колеса изготавливается из плоского диска, у которого впоследствии скашиваются участки на рабочей и тыльной поверхностях лопасти в районе выходной кромки.

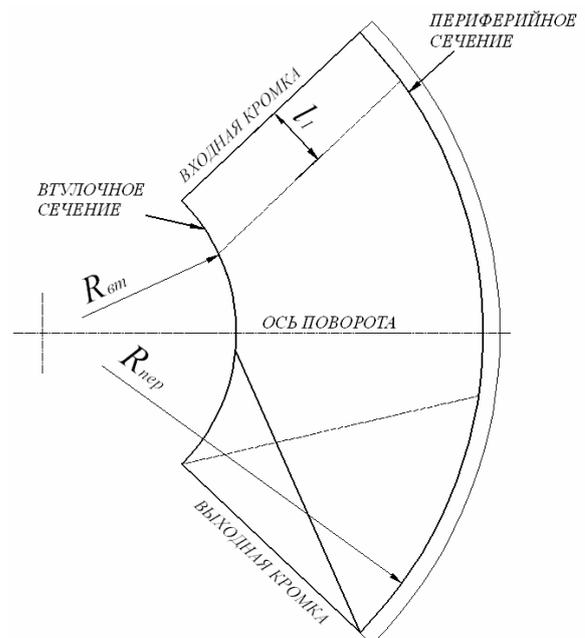


Рис. 2. Подрезка лопасти рабочего колеса:
 - - - - по тыльной стороне лопасти;
 ————— по рабочей стороне лопасти

Для улучшения условий обтекания входной кромки рабочего колеса дополнительно проводилась также подрезка входного участка тыльной стороны заготовки лопасти. При этом толщина входной кромки и длина зоны

подрезки задавались одинаковыми для всех цилиндрических сечений лопасти и, соответственно, принимались равными $\delta_{вх}$ и L_1 . На рис. 3 показано цилиндрическое сечение лопасти рабочего колеса.

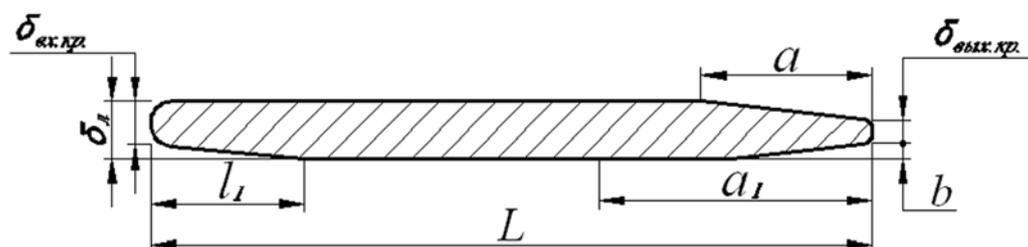


Рис. 3. Цилиндрическое сечение лопасти

Расчетные исследования энергетических показателей гидроагрегата «РАНД-1». Для расчета энергетических показателей гидроагрегата «РАНД-1» был использован АПК «ГРАНИТ», который позволяет определить кинематические, энергокавитационные и силовые характеристики гидромашин и хорошо зарекомендовал себя в инженерной практике [2]. Предварительно с помощью указанного программного комплекса были выполнены расчетные исследования энергетических и кавитационных показателей капсульной гидротурбины ПЛГ-548, установленной на Саратовской ГЭС. В исследовании на основе сопоставления результатов расчета с экспериментом выполнялась оценка точности определения гидравлических характеристик гидротурбины ПЛГ-548 с помощью АПК «ГРАНИТ», поскольку ранее такие исследования для капсульных гидроагрегатов практически не проводились. При этом проводилась разработка рекомендации для прогнозирования энергетических показателей капсульного гидроагрегата «РАНД-1» имеющего технологически простые в изготовлении лопастные системы. Действительно, используя результаты расчетных и экспериментальных характеристик гидротурбины ПЛГ-548, можно затем с учетом их отличия друг от друга дать достаточно надежный прогноз фактических характеристик капсульной гидротурбины «РАНД-1» близкой быстроходности.

Выполненные расчетные исследования показали, что в зоне рабочих режимов гидроагрегата «РАНД-1» отличие расчетных значений коэффициента полезного действия гидротурбины ПЛГ-548, полученных с помощью АПК «ГРАНИТ», от соответствующих экспериментальных значений незначительны. Это обстоятельство свидетельствует о возможности

прогнозирования с помощью АПК «ГРАНИТ» гидравлических характеристик капсульных гидротурбин на указанных выше режимах их работы. Следует отметить, что в гидротурбине ПЛГ-548 Саратовской ГЭС установлен конический направляющий аппарат, имеющий 16 пространственных по форме лопаток. В целях уменьшения стоимости изготовления капсульной гидротурбины «РАНД-1» в ней установлен цилиндрический направляющий аппарат (статор), расположенный на капсуле гидротурбины. Для обоснования целесообразности применения указанного направляющего аппарата были выполнены расчетные исследования с помощью АПК «ГРАНИТ» энергетических показателей гидротурбины ПЛГ-548 с этим цилиндрическим аппаратом. Этот вариант гидротурбины условно назван ПЛГ-548А. Результаты расчетов показали, что замена конического направляющего аппарата с пространственными лопатками на цилиндрический аппарат с простыми по форме сечениями лопаток (рис. 1) приводит к незначительному изменению энергетических показателей гидротурбины ПЛГ-548 и дает близкие по величине значения коэффициента полезного действия этой гидротурбины на всех комбинаторных режимах ее работы.

Далее был рассмотрен вариант гидротурбины ПЛГ-548Б, в которой пространственные лопастные системы направляющего аппарата и рабочего колеса гидротурбины ПЛГ-548 заменены предложенными выше простыми по форме лопастными системами гидротурбины «РАНД-1». Выполненные расчетные исследования показали, что замена пространственных лопастей рабочего колеса гидротурбины ПЛГ-548 на плоские лопасти гидротурбины «РАНД-1» приводит к снижению энергетических и кавитационных показателей гидротурбины ПЛГ-548Б (рис.4).

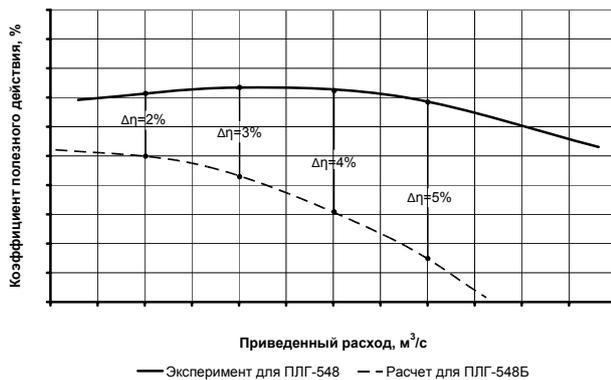


Рис. 4. Сопоставление коэффициента полезного действия гидротурбин ПЛГ-548 и ПЛГ-548Б

Как видно из рис. 4. в зоне небольших приведенных расходов различия коэффициентов полезного действия гидротурбины ПЛГ-548 Саратовской ГЭС, который был получен экспериментально, и гидротурбины ПЛГ-548Б с простыми по форме лопастными системами, не превышает 2%. В зоне режимов работы малых низконапорных ГЭС, которые характеризуются

большими приведенными расходами, коэффициент полезного действия гидротурбины ПЛГ-548Б на 4-5% меньше гидротурбины ПЛГ-548 Саратовской ГЭС.

Вывод: технико-экономический анализ полученных результатов свидетельствует о целесообразности применения разработанного экономичного гидроагрегата «РАНД-1» на низконапорных малых ГЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Николаенко, Ю.Н. Разработка низконапорных гидроагрегатов для малых ГЭС / Ю.И. Николаенко, В.В. Макаров, А.В. Тарасов // Труды МНТК «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития». – С-Пб, Изд-во СПбГПУ, 2008. – С. 19-23.
2. Захаров, А.В. Автоматизированный программный комплекс «Гидродинамический расчет насосов и турбин» / А.В. Захаров, Г.И. Топаж. – Энергомашиностроение. Труды СПбГПУ. – 2004. - № 491. – С. 80-99.

DEVELOPMENT OF COSTEFFECTIVE HYDROAGGREGATES FOR LOW-HEAD SMALL WATER POWER STATIONS

© 2010 Yu.I. Nikolaenko¹, A.V. Tarasov¹, G.I. Topazh²

¹ NPO «Rand», St.-Petersburg

² St.-Petersburg State Polytechnic University

It is developed costeffective capsule hydroaggregate (free flow or for dam) for low-head small hydroelectric power stations. Stator and impellor of this hydroaggregate have the simple shape of bladed systems. Calculated researches of influence of the shape technologically simple blade systems on the power performances of low-head hydroaggregate for small hydroelectric power stations are executed.

Key words: *hydroaggregate, small water power station, blade*

Yuriy Nikolaenko, Doctor of Technical Sciences, Director.

E-mail: rund@delfa.net

Aleksey Tarasov, Engineer. E-mail: alekseytarasov@yandex.ru

Grigoriy Topazh, Doctor of Technical Sciences, Professor.

E-mail: topaj@mail.ru