

РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГИДРОТУРБИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС С ПОМОЩЬЮ АПК «ГРАНИТ»

Автоматизированный программный комплекс «Гидродинамический расчет насосов и турбин» (АПК «ГРАНИТ») предназначен для прогнозирования основных гидравлических показателей лопастных гидромашин и позволяет:

- определить кинематику потока (распределение скоростей и давлений) в лопастных системах направляющего аппарата (НА) и рабочего колеса (РК), а также в осесимметричных областях проточной части перед и за лопастными системами;
- определить расход и мощность гидромашин при различных открытиях НА и углах установки лопастей РК (для поворотно-лопастных гидромашин);
- найти различные виды гидравлических потерь энергии в элементах проточной части, объемные и дисковые потери, а также к.п.д. гидромашин на расчетных режимах;
- определить кавитационные показатели гидромашин на различных режимах;
- определить нагрузки (гидравлические и центробежные стационарные силы и моменты), действующие на лопатки НА и лопасти РК на расчетных режимах, найти массу лопастей РК и НА;
- построить прогнозную универсальную характеристику гидротурбины, рабочие и эксплуатационные характеристики гидромашин.

Для решения указанных задач используются современные методы расчета пространственного потока и баланса потерь энергии в проточной части гидромашин [1]. В настоящее время АПК «ГРАНИТ» внедрен в различных организациях и хорошо зарекомендовал себя в инженерной практике.

Для оценки эффективности указанного программного комплекса, в данной работе с помощью АПК «ГРАНИТ» выполнены расчетные исследования энергетических и кавитационных показателей номенклатурной гидротурбины РО 230/833, установленной на Саяно-Шушенской ГЭС. Полученные результаты расчета сопоставляются с данными экспериментальных исследований этой гидротурбины. Предварительно, был создан компьютерный проект гидротурбины РО 230/833, т.е. в базу данных АПК «ГРАНИТ» была введена геометрия элементов ее проточной части. Расчеты проводились при задании различных открытий a_0 направляющего аппарата и для напора $H=191$ м, близкого к расчетному напору Саяно-Шушенской ГЭС. Этому напору соответствует значение приведенных оборотов $n_1 = n \cdot D_1 / \sqrt{H} = 70$ об/мин, где $D_1 = 6,77$ м - диаметр рабочего колеса, $n = 142,8$ об/мин - частота вращения рабочего колеса Саяно-Шушенской ГЭС. Для указанных режимов с помощью АПК «ГРАНИТ» определялись значения приведенного расхода - Q_1 , мощности гидротурбины - N , величины КПД - η и кавитационного коэффициента - σ .

Результаты выполненных расчетов представлены в табл. 1. В этой таблице также даны соответствующие экспериментальные значения, полученные на основе универсальной характеристики гидротурбины РО 230/833 [2]. В табл. 1 указаны безразмерные, отнесенные к диаметру рабочего колеса, значения открытий направляющего аппарата $A_0 = a_0/D_1$. Мощность гидротурбины равна $N = k \cdot \eta \cdot Q_1$ (Мвт), где $k = 9.81 \cdot D_1^2 \cdot H \cdot \sqrt{H}/1000 = 1184$.

Таблица 1. Результаты расчетных и экспериментальных исследований гидротурбины РО 230/833 ($n_1 = 70$ об/мин).

A_0	Расчет				Эксперимент			
	$Q_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$\eta, \%$	σ	$N, \text{ Мвт}$	$Q_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$\eta, \%$	σ	$N, \text{ Мвт}$
0,044	0,333	84,9	0,032	334,7	0,357	87,3	-	369,0

0,051	0,392	90,0	0,035	417,7	0,408	89,3	-	431,4
0,057	0,449	93,2	0,041	495,5	0,458	91,5	0,051	496,2
0,060	0,475	94,0	0,045	528,7	0,481	92,4	0,053	526,2
0,063	0,500	94,4	0,049	558,8	0,504	92,6	0,054	552,6
0,067	0,524	94,4	0,053	585,7	0,524	92,6	0,056	574,5
0,070	0,545	94,1	0,058	612,1	0,546	91,9	0,058	594,1
0,076	0,585	92,7	0,068	642,1	0,579	90,5	0,062	620,4
0,082	0,620	90,3	0,078	662,9	0,610	88,8	0,068	641,4

Сопоставление результатов расчета и эксперимента позволяет сделать следующие выводы.

1. Для гидротурбин средней быстроходности типа РО 230 можно с помощью АПК «ГРАНИТ» с высокой точностью определить значения приведенного расхода при фиксированном открытии направляющего аппарата. В основном, отличие расчетных и экспериментальных значений приведенного расхода Q_1 при различных значениях a_0 не превышает 2 %, и лишь при малых открытиях направляющего аппарата ($a_0 < 51$ мм) указанное отличие достигает 4 %.

2. Расчетное значение оптимального приведенного расхода (при котором КПД гидротурбины равен максимальному значению) практически совпадает с соответствующей экспериментальной величиной, равной $Q_1 = 0,515 \text{ м}^3/\text{с}$.

3. В широком диапазоне изменения открытий направляющего аппарата расчетные значения КПД турбины отличаются от соответствующих экспериментальных величин не более чем на (1,5-2,0) %. В основном, расчетные величины КПД больше экспериментальных значений. Это объясняется неточным определением, а также отсутствием учета в АПК «ГРАНИТ» некоторых видов потерь энергии в гидротурбине, в частности, вторичных и кромочных потерь энергии в лопастных системах.

4. Погрешность расчетного определения КПД и приведенного расхода приводит к погрешности расчета полезной мощности гидротурбины. При одном и том же открытии направляющего аппарата значения расчетной мощности оказываются, в основном, больше экспериментальной величины, причем указанное отличие увеличивается с увеличением a_0 .

5. На всех исследованных режимах расчетные значения кавитационного коэффициента гидротурбины РО 230/833 меньше на (10-20)% по сравнению с соответствующей экспериментальной величиной.

В целом, выполненные исследования подтвердили эффективность применения АПК «ГРАНИТ» для прогнозирования гидравлических показателей гидротурбин.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Захаров А.В., Топаж Г.И.. Автоматизированный программный комплекс «Гидродинамический расчет насосов и турбин». Энергомашиностроение. Труды СПбГПУ, №491, СПб, Издательство Политехнического университета, 2004.
2. Турбины гидравлические для гидроэлектростанций. ОСТ 108 023. 15-82. Л. 1984. 263с.