

**МЕТОДИКА ЗА ОПИТНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА МОДЕЛНА ОСОВА
ТУРБИНА****METHODS FOR EXPERIMENTAL STUDIES OF MODEL OF AXIAL
HYDRAULIC TURBINE****Николай Стефанов**
ТУ Габрово**Мария Райкова**
ТУ Габрово**Христо Славчев**
ТУ Габрово**Abstract**

The article proposes methodology for experimental determination the basic parameters of the model of axial hydraulic turbine. Is evaluated estimated error in determining the parameters.

Keywords: axial hydraulic turbine, experimental methods, parameters of turbine.

ВЪВЕДЕНИЕ

Екологичните проблеми, намаляването на запасите на нефт и газ налагат все по-широко използване на възобновяеми енергийни източници като енергията на водата, въздуха и слънцето. Нашата страна не разполага с големи водни ресурси, а по-скоро с реки, чийто дебит е неголям и географският терен има малка разлика във височината. Използване на хидравличната енергия на тези реки е свързано с изграждане ефективни мини ВЕЦ с нерегулируеми пропелерни турбини. Там често в качеството на електрически генератори се използват асинхронни електрически двигатели, работещи в генераторен режим.

Редица международни изследвания са доказали, че себестойността на електроенергията чрез използване на енергийния потенциал на водата е значително по-ниска от произведената електроенергия от други енергоносители. Това се дължи на дългия период на ползване и на ниските разходи, свързани с производството и поддръжката на ВЕЦ.

Цената остава конкурентоспособна дори когато трябва да се направят допълнителни инвестиции за електропроводи.

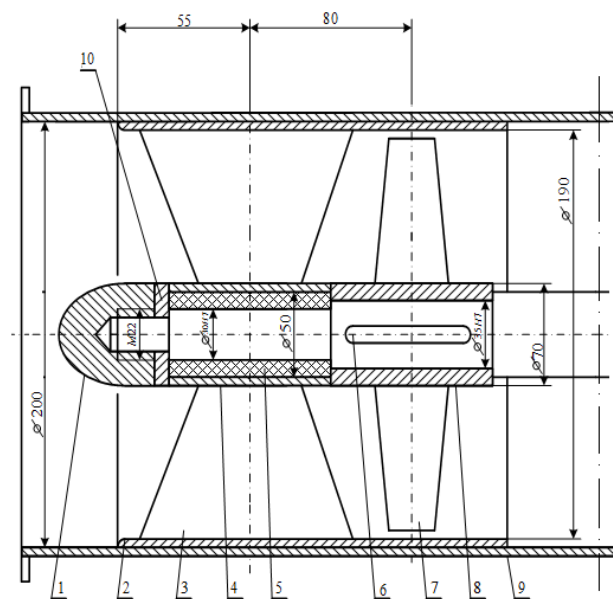
ИЗЛОЖЕНИЕ

Ефективността на мини ВЕЦ в голяма степен се определя от к.п.д. на водната турбина. Колектив от катедра ЕТ при ТУ-Габрово разработи ниско напорна осова турбина (фиг.1) предназначена за работа при дебита $Q=0,12 \div 0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ и напори $H=0,5 \div 3 \text{ m}$. Изграден е стенд на територията на катедрата с цел извършване на енергетични изпитания на изработения модел на турбината. Подробно конструкцията на турбината и стенда са разгледани в [3] и [4].

Режима на работа на турбината се определя от натоварването и характеристиката и. Основна задача на моделните енергетични изпитания е опитно заснемане на характеристиките (оборотни, дебитни, мощностни и др.) на турбината. Стойността на к.п.д се определя от основните параметри на турбината: диаметър на работното колело D , честота на въртене на n , дебит Q и напор H .

Изменението на режима на работа на турбината се постига по различен начин, в зависимост от опитната установка. В процеса на експлоатация турбините работят при постоянна честота на въртене, при различни дебита и напор. Моделната турбина,

като правило, се изпитва при постоянен напор и променливи натоварвания и честота на въртене.



Фиг. 1. Моделна турбина

1-обтекател, 2-външна втулка, 3-направляващ апарат, 4- вътрешна втулка, 5-плъзгащ лагер, 6-шпонка, 7- лопатки на паботното колело, 8-главина, 9-корпус, 10-контрагайка

На фиг. 2 е дадена схема на изпитателния стенд, а на фиг. 1 – на изпитвания модел на осова турбина.

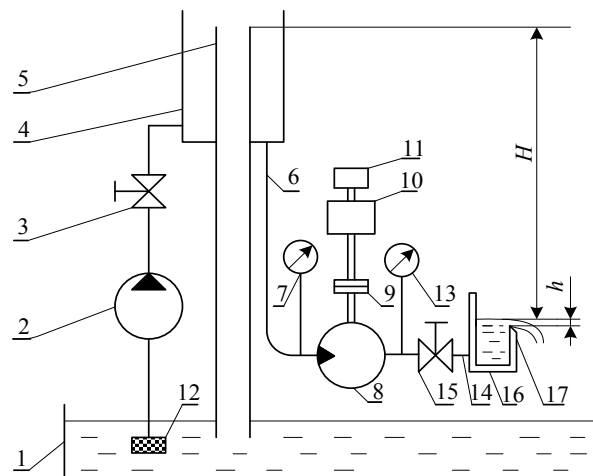
В качеството на генератор се използва постоянно токов двигател с възбуждане от постоянни магнити и с вграден в него тахогенератор. Двигателя работещ в режим на генератор е тип: 21MBH-2-K с параметри $M_G=21\text{Nm}$ $U_{mah}=125\text{V}$ $n_{max}=1000\text{min}^{-1}$

Измервателната апаратура включва: манометър за измерване на налягането на входа и изхода на турбината, нивопоказател на горен и долен басейн, амперметър и волтметър за определяне на силата на тока и напрежението на генератора, преливник за измерване на дебита, оборотомер за измерване честотата на въртене на вала. Товарното устройство е на база електрически нагреватели и позволява степенно да се променя товара на турбината.

При установен напор и дебит се провежда серия от замервания при различен товар. Извършва се замерване на дебит и напор, обороти, ток и напрежение на генератора, големина на товара. В резултат на измерванията и чрез изчисления се определят

мощността и к.п.д на турбината, а също така се изчисляват и приведените еднометрови параметри на турбината. Експеримента се повтаря при различни стойности на дебита и напора.

Дебитът през турбината се измерва чрез преливник без странична концентрация, като се измерва преливната вълна. Преливникът е с правоъгълно напречно сечение и неговата ширина $b=0,4\text{m}$ е равна на ширината на подвеждащия канал. На разстояние $L < (3 \text{ до } 4)h$ е поставен ниво показател за отчитане на преливната височина, като делението на скалата му е през 1mm .



Фиг. 2. Експериментален стенд

1-резервоар, 2 –помпа, 3-шибър, 4-напорен резервоар, 5- преливник, 6-напорен тръбопровод, 7-манометър, 8-турбина, 9-съединител, 10-генератор, 11-измервателен блок, 13-манометър, 14-тръба, 15-шибър, 16-долен резервоар, 17- преливник

Дебитът, измерен чрез отчитане на преливната височина, се изчислява по уравнение:

$$Q = \mu \cdot b \cdot h^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \quad (2)$$

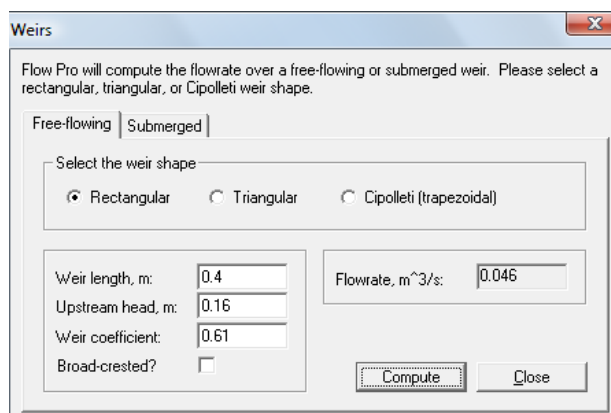
където: $\mu=0,5-0,6$ –коефициент на дебит;
 $b=0,4\text{m}$ – ширина на преливника;
 h, m – напор на преливника.

Коефициентът на дебит μ , за преливник без странична концентрация, се пресмята по зависимостта на Базен:

$$\mu = \left(0,45 + \frac{0,027}{h} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h + c_p} \right)^2 \right] \quad (3)$$

където $c_p=0,5\text{m}$ - височината на преливника.

За определяне на дебита се използва и специализиран софтуер. Дебита определен по зависимост (3) и чрез софтуера се различава в рамките на (3-4)%



Напора на турбината се определя по показанията на манометрите включени на входа и изхода на турбината $H=(p_1-p_2)/\rho g$.

Полезната мощност на турбината P се определя от електрическата мощност на генератора

$$P_G=U.I, \text{ W} \quad (4)$$

отчитайки неговия к.п.д η_G

$$P=P_G/\eta_G \quad (5)$$

Хидравличната мощност на потока на входа на турбината е:

$$P_h=\rho.g.Q.H, \text{ W} \quad (6)$$

където: $\rho=10^3 \text{ kg/m}^3$ – плътност на водата;

$g=9,81\text{m/s}^2$ – земно ускорение.

Коефициента на полезно действие на турбината се определя от зависимостта:

$$\eta = \frac{P}{P_h} \quad (7)$$

Приведените еднометрови параметри на турбината, необходими за построяване на универсалната и характеристика, се определят по зависимостите:

Приведена еднометрова честота

$$n'_1 = \frac{nD}{\sqrt{H}} \quad (8)$$

Приведен еднометров дебит

$$Q'_1 = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}} \quad (9)$$

Приведена еднометрова мощност

$$P'_1 = \frac{P}{D^2 H \sqrt{H}} \quad (10)$$

Замерването на съответните величини се извършва при установен режим на работа на турбината. Колебанията в показанията на уредите са в тесни граници. Основна причина за тези колебания са пулсациите в дебита на захранващата помпа и вихрообразуването в местните съпротивления (колена, кранове, преходи). За успокояване на потока в тръбопровода за монтирани мрежи.

За относителната грешка при определяне на дебита като се има предвид уравнение (2) се получава зависимостта:

$$\left| \frac{\Delta Q}{Q} \right| = \left| \frac{\Delta \mu}{\mu} \right| + \left| \frac{\Delta b}{b} \right| + \left| \frac{\Delta g}{g} \right| + \left| \frac{3}{2} \frac{\Delta h}{h} \right| \quad (11)$$

Относителната грешка на коефициента на дебит зависи от преливната височина, а също така зависи и от височината на преливника.

При измерени стойности на приливната височина в границите от 0,051м до 0,2м, за минималната и максимална относителна грешка се получава:

$$\left| \frac{\Delta \mu}{\mu} \right|_{\min} = 1,25\% \quad \left| \frac{\Delta \mu}{\mu} \right|_{\max} = 1,98\%$$

От анализа на този резултат се вижда, че съществено значение оказва височината на преливника, като за така подбраната височина $c_p=0,5\text{m}$, относителната грешка е 1% от общата при определяне на коефициента на дебит.

За относителната грешка, вследствие измерване на преливната височина се получава:

$$\left| \frac{3}{2} \frac{\Delta h}{h} \right|_{\min}^{\max} = (0,37 \div 1,47)\%$$

а относителната грешка от измерване ширината на преливника е

$$\left| \frac{\Delta b}{b} \right| = 0,12\%.$$

За общата относителна грешка при измерването на дебита, като се пренебрегне относителната грешка $\left| \frac{\Delta g}{g} \right|$, се получава:

$$\left| \frac{\Delta Q}{Q} \right|_{\min} = 0,61\%, \quad \left| \frac{\Delta Q}{Q} \right|_{\max} = 3,57\%.$$

Напорът H се определя по показанията на манометрите 7 и 13. Използвани са манометри с чувствителен елемент манометрична пружина и с клас на точност 0,5 и граница на измерване $1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Мощността на вала на турбината се определя чрез измерване на електрическата мощност на генератора P_G и с отчитане на неговия к.п.д. η_G .

Относителната грешка при определяне на мощността на вала P на генератора се определя от зависимостта:

$$\left| \frac{\Delta P}{P} \right| = \left| \frac{\Delta U}{U} \right| + \left| \frac{\Delta I}{I} \right| + \left| \frac{\Delta \eta_G}{\eta_G} \right| \quad (12)$$

При измерени средни стойности на напрежението $U=50\text{V}$ и силата на тока 2A , за относителната грешка се получава

$$\left| \frac{\Delta P}{P} \right| = 5,4\%.$$

Хидравличната мощност на потока се определя по зависимост (6). Относителната грешка при определяне на хидравличната мощност е:

$$\left| \frac{\Delta P_h}{P_h} \right|_{\min}^{\max} = \left| \frac{\Delta Q}{Q} \right|_{\min}^{\max} + \left| \frac{\Delta p_1 + \Delta p_2}{p_1 - p_2} \right|, \quad (13)$$

където p_1 и p_2 са показанията на манометри 7 и 13, по които се определя напора H .

При реализиран напор от един метър за минималната и максимална относителна грешка се получава:

$$\left| \frac{\Delta P_h}{P_h} \right|_{\min} = 10,61\%,$$

$$\left| \frac{\Delta P_h}{P_h} \right|_{\max} = 13,57\%.$$

За грешката при определяне на коефициента на полезно действие на турбината се получава:

$$\left| \frac{\Delta \eta}{\eta} \right| = \left| \frac{\Delta P}{P} \right| + \left| \frac{\Delta P_h}{P_h} \right|_{\min}^{\max} \quad (14)$$

$$\left| \frac{\Delta \eta}{\eta} \right|_{\min} = 11,14\%$$

$$\left| \frac{\Delta \eta}{\eta} \right|_{\max} = 14,1\%$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основата на реализиран експериментален стенд е предложена методика за опитно заснемане на параметрите на моделна осова пропелерна турбина. Тяхното определяне позволява да се построят основни енергийни характеристики на турбината. Направена е оценка на грешките при определяне на съответните параметри. Максималната относителна грешка е при определяне на к.п.д и тя е по-малка от 15%

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Барлит В.В Гидравлические турбин. Киев Висша школа 1977..
- [2] Славчев Х.Д, Райкова М.Д, Стефанов Н.С Относно създаване на методика за оразмеряване на нерегулируема ниско напорна пропелерна мини турбина. АМТЕСН 07, 23-24 ноември 2007, Габрово.

[3] Славчев Х.Д, Стефанов Н.С, Райкова М.Д.
Стенд за изпитване а ниско-напорна водна
турбина. С малка мощност. АМТЕСН 07, 23-
24 ноември 2007, Габрово

[4] Славчев Х.Д, Райкова М.Д, Стефанов Н.С
Моделна мини турбина.UNITEХ 09, 20-
21.2010, Габрово

[5] Раабе И. Гидравлические машины и уста-
новки, Москва Энергия 1974;