

## ПЕЛТОНОВА ВОДНА ТУРБИНА ЗА МАЛКА ВЕЦ

Валентин ОБРЕТЕНОВ, Цветан ЦАЛОВ

v\_obretenov@tu-sofia.bg, tsalov@tu-sofia.bg

Технически Университет – София, бул. "Кл. Охридски" 8, 1797 София, БЪЛГАРИЯ

### Резюме

*Представени са резултати от изследвания, насочени към разработването на ефективна конструкция на Пелтонова водна турбина за малката ВЕЦ "Станкова река". Описани са използваните методи за синтез на работно колело и направляващо устройство, както и конструктивните особености на турбината. Показани са работни характеристики на турбината и хидроагрегата. Резултатите от експлоатацията на турбината са доказателство за възможностите на разработените методи и софтуер за синтез на ефективна проточна част на водни турбини тип Пелтон.*

**Ключови думи:** Пелтонова турбина, проточна част, хидроагрегат, работно колело, хидроенергетика.

### Въведение

Усвояването на високонапорните хидроенергийни източници налага разработването на ефективни конструкции на Пелтонови турбини. За решаването на този проблем са необходими мощни методи и софтуер за синтез на елементите от проточната част на тези турбини. В катедра ХАД и хидравлични машини на ТУ-София още от 80-те години на миналия век се работи целенасочено по тази научна проблематика.

За ВЕЦ с малка мощност един от най-важните проблеми е ефективното оползотворяване на разполагаемия хидроенергиен потенциал. Известно е, че степента на оползотворяването му обикновено е под 50% и това е един от основните недостатъци на малките ВЕЦ. Обикновено инвеститорите инсталират в централите хидроагрегати, съобразявайки се само с максималните стойности на дебита, които са на разположение обикновено 2-3 месеца в годината. Този проблем може да бъде решен чрез инсталиране хидроагрегат с по-малка мощност, съобразена с реалния диапазон на изменение на дебита и с характеристиките на основния хидроагрегат. Типичен пример е малката ВЕЦ „Ст. река“, в която през 2009г. беше инсталиран хидроагрегат с Пелтонова турбина с максимална

мощност 958 kW при дебит 400 l/s. Експлоатацията му показва, че за сравнително голям период от време се налага хидроагрегатът да работи с минимална мощност (80 kW), или въобще да не работи. За по-пълното оползотворяване на разполагаемия хидроенергиен потенциал се наложи да бъде инсталиран втори хидроагрегат с Пелтонова турбина, като изчислителните стойности на основните параметри на турбината са дадени в табл. 1.

**Таблица 1. Основни параметри на турбината**

Параметър	Стойност
Напор, m	290.0
Дебит (разчетен), m <sup>3</sup> /s	0.040
Честота на въртене, min <sup>-1</sup>	1500
Мощност (разчетна), kW	102.1
Основен диаметър, m	0.470

В тази работа са представени резултати от изследвания, насочени към създаването Пелтонова водна турбина за ВЕЦ „Ст.река“. Те са част от научната програма на проекта ДУНК-01/3, финансиран от МОМН.

### Синтез на проточната част

Проточната част на турбината е синтезирана според съвременните изисквания за

турбина от този тип с малка мощност и се състои от няколко последователно свързани елемента: разпределително устройство; направляващо устройство; работно колело; работна камера.

Синтезът на проточната част е направен с помощта на методи и програмната система PelTAD, валидирани чрез моделни изследвания [www.hydrolab.tu-sofia.bg], както и при модернизацията на други водни турбини [Obretenov 2006].

Турбината е с една дюза, поради което разпределителното устройство е максимално опростено (права тръба и коляно). Направляващото устройство е коляновидно, като е използвана схема, съобразена с изискванията към турбина с малка мощност. То преобразува енергията на водата изцяло в кинетична. Струята атакува работното колело в най-ниската му част (ъгълът на оста ѝ с вертикалата е  $90^{\circ}$ ). Дюзата е с ъгъл  $90^{\circ}$ , а иглата -  $60^{\circ}$ . За разчетния режим скоростите във входното и изходното сечение на направляващото устройство са съответно 4.2 m/s и 66.8m/s. Диаметърът на струята в разчетния режим на работа е  $d_0=29.5\text{mm}$ .

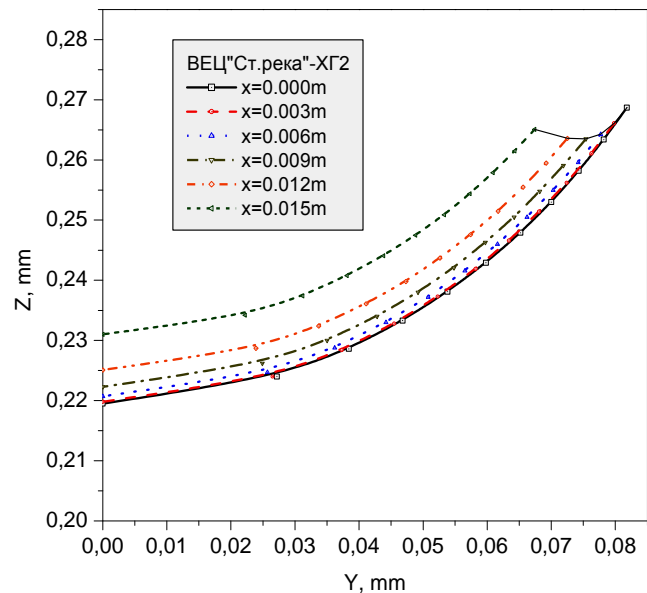


Фиг.1. Модел на работното колело

Работното колело е съставно, с механично закрепване на лопатките (фиг.1). Броят на работните лопатки е  $z=22$  при основен диаметър  $D_1=470\text{mm}$  и радиус при върха на ножа  $R=266\text{mm}$ . Те са определени на основата на анализ на взаимодействието на лопатките със струята с оглед елиминирането на обемните загуби при атаката на работното колело [Obretenov 1993]. Максималният диаметър на работното колело е  $D_0=552.5\text{mm}$ , а

максималната ширина на обтечената част на работните лопатки  $B=106\text{mm}$ .

Тилната страна на лопатките е оразмерена с оглед избягване на удари от струята (формата е съобразена с относителните траектории на водните частици при взаимодействието на струята с работните лопатки). На фиг.2 са показани относителните траектории по тилната страна на лопатката, определени по методиката, описана в [Обретенков 2012].



Фиг.2. Относителни траектории

Активната дъга е с ъгъл  $51.98^{\circ}$ , а при перпендикулярен на оста на струята нож:  $-9.59^{\circ}$ . Времето за пълна атака на всяка работна лопатка от струята е 2.43 ms.

На фиг.3 е показан 3-D модел на работната лопатка.

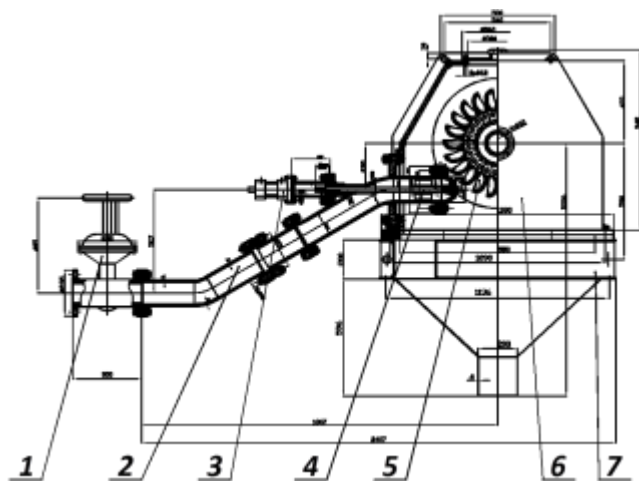


Фиг.3. Работна лопатка

### Конструкция на турбината и хидроагрегата

На фиг.4 е показана принципна схема на турбината. Тя е с хоризонтален вал. Дюзата 4 е

монтирана към корпуса 6. Предвид малката мощност на турбината и характеристиките на напорния тръбопровод, направляващият апарат е без дефлектор, като е предвидена възможност за допълнителното му монтиране (при необходимост). Иглата е с ход 22mm (за разчетния режим). Задвижването ѝ е хидравлично и е разположено извън проточната част на турбината.



**Фиг.4. Схема на турбината**

Корпусът е изработен от листов конструкционна стомана. Предвидени са два ревизионни люка: единият е върху горната стена на корпуса, а вторият – фронтално, пред работното колело.

Колянovidното направляващо устройство е свързано със затвора 1 и напорния тръбопровод посредством тръба 2 и коляно. Непосредствено преди него е разположен клиновия шибър 1.



**Фиг.5. Работно колело**

Задвижването на иглата се извършва чрез силов цилиндър 3 и задвижваща хидравлична система. Пропуските през уплътнението на иглата се отвеждат в дренажната система.

Работното колело 5 е с механично закрепване на лопатките (фиг.5). Последните са изработени от стомана Х4CrNi13-4 (използван е прокат), а главината (диска) от стомана 42CrMo4.

Работните лопатки са закрепени непосредствено към главината (без клинове) с по две конусни шпилки.

Предаването на въртящия момент става с помощта на шпонково съединение. Работното колело е закрепено конзолно към вала на генератора. Предвидено е салниково уплътнение на вала, интегрирано в корпуса на турбината.

Роторът на хидроагрегата (работно колело, ротор на генератора) е балансиран динамично.

За отвеждане на водата в шахтата на хидроагрегат №1 е предвидена тръба, монтирана към изходящия фланец на корпуса и рамата на турбината. В началната си част тя е с форма на пресечена пирамида, а след това преминава в тръба с квадратно сечение. Изработена е от стоманена ламарина и е бетонирана във фундамента.

Турбината е монтирана заедно с генератора върху рамата 7 (фиг.4). Последната е анкерована във фундамента на централата. Монтажът на турбината и генератора върху рамата е извършено в заводски условия. Турбината е проектирана за дълговременна експлоатация при характерните за такива машини условия.

На фиг.6 е показан хидроагрегатът с Пелтоновата турбина, инсталиран в машинната зала на централата.

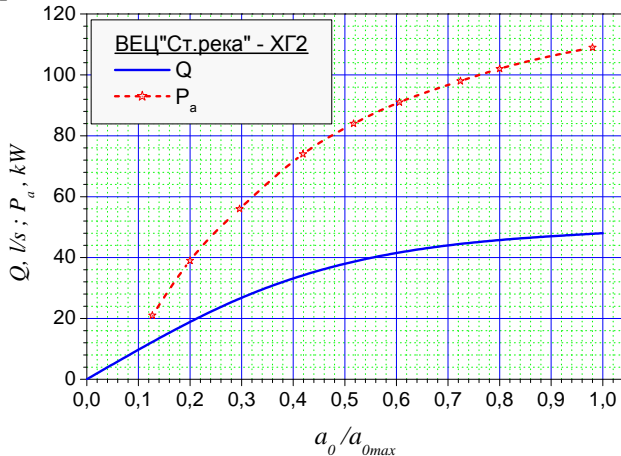


**Фиг. 6. Хидроагрегат №2 в машинната зала**

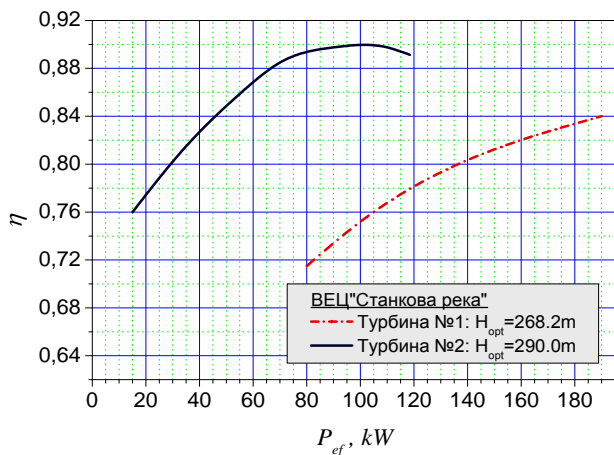
### Характеристики

Хидроагрегат №2 във ВЕЦ „Ст.река” е в редовна експлоатация от края на м.септември 2012г. Системата за управление в централата предвижда

възможност както за самостоятелна работа, така и за работа в паралел с хидроагрегат №1. На фиг.7 са показани зависимостите на дебита  $Q$  и активната мощност на хидроагрегата  $P_a$  от относителното отваряне на направляващия апарат ( $a_0/a_{0max}$ ) на турбината при самостоятелната му работа.



Фиг.7. Работни характеристики (ХГ2)



Фиг.8. Работни характеристики (турбини №1 и №2)

На фиг.8 е направено сравнение на работните характеристики на двете инсталирани във ВЕЦ"Ст.река" турбини (зависимост на к.п.д. от

ефективната мощност  $P_{ef}$ ) в зоната на малките товари. Очевидно е, че малката турбина работи с много по-висока ефективност от голямата в целия си експлоатационен диапазон, като покрива и поле, в което голямата не може да работи. Това естествено води за забележимо нарастване на обема на произведената електроенергия. На практика от м.октомври 2012г. до м.февруари 2013г. е работила само тази турбина, като хидроагрегатът е произвел около 165000 kWh електроенергия.

### Заклучение

Резултатите от направените изследвания дават възможност да бъдат направени следните важни изводи:

1. Разработените методи и компютърни програми позволяват да бъде синтезирана ефективна проточна част на водни турбини тип Пелтон.

2. Инсталирането на втори хидроагрегат във ВЕЦ"Ст.река" позволява да се усвои в по-пълна степен разполагаемия хидроенергиен ресурс и да се постигне забележимо по-голям обем на произведената електроенергия от централата.

3. Анализът на състоянието на Пелтоновата водна турбина (работно колело, направляващ апарат) след 4000 часа експлоатация в зимни условия потвърждава надеждността на разработената конструкция.

### Литература

- Обретенов В. Повишаване ефективността на работния процес на активни водни турбини. Екопрогрес, С., 2012.  
 Obretenov V. Optimum design of Pelton turbine wheels. Proceedings of the Hydroturbo'93 Conference, pp. 313-320, Brno, 1993.  
 Obretenov V. Modernization of Pelton turbine. Сп. „Проблеми машиностроения”, №4, т.9, стр.34-38, Харьков, 2006.  
[www.hydrolab.tu-sofia.bg](http://www.hydrolab.tu-sofia.bg)

## PELTON WATER TURBINE FOR SMALL HPP

V. Obretenov, Ts. Tsalov

### Summary

The results from research aimed at developing an effective stream part of Pelton water turbine for small HPP "Stankova reka" are presented. Described are methods for synthesis of runner and nozzle, as well as the specific design of the turbine. Work characteristics of the turbine and hydro unit are also presented. The results of operation of the turbine are evidence of the ability of the developed methods and software for synthesis of effective stream part of Pelton type water turbines.

**Keywords:** Pelton turbine, stream part, hydroaggregat, runner, hydropower.