

# Модернизация на водни турбини

**М** В. С. Обретенов  
 одернизацията на водните турбини обхваща комплекс от мероприятия, чиято цел е удължаване срока на експлоатация и повишаване ефективността на работния процес на турбините. Основните причини за провеждането ѝ могат да бъдат изчерпване срока на експлоатация, повреди, нарушаващи нормалната експлоатация или кавитационно износване.

## Изчерпване срока на експлоатация

От практиката е известно, че срокът за нормална експлоатация след пускане в действие на една водна турбина е 50-60 години. След това е наложително турбината да бъде модернизирана, за да се повиши ефективността ѝ, както и да се избегнат аварии, които в някои случаи могат да бъдат катастрофални. Показателно е например, че по данни на Voith Hydro дори в Африка 50% от работещите водни турбини са инсталирани през последните 36 години. Ако не се вземат предвид водноелектроенергетичните централи с малка мощност, в България през последните 30 години са въведени в експлоатация само ВЕЦ Цанков камък (2 турбини) и ПАВЕЦ Чаира (4 обратими турбомашини). Уместно е да се отбележи, че през последните 15 години у нас бяха модернизираны турбините в почти всички основни за енергийната ни система ВЕЦ.

## Повреди, нарушаващи нормалната експлоатация

В тези случаи обикновено се поставя въпросът: модернизация или проектиране на нова турбина? Отговорът зависи от състоянието на

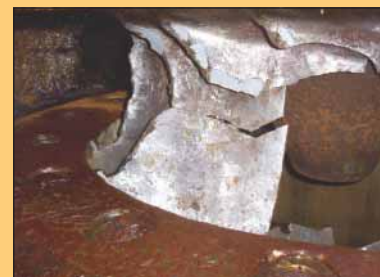
турбината и възможностите на собственика на централата. Показателен е примерът с ВЕЦ Тополница, в която през април 2003 г. хидроагрегат №3 на практика беше разрушен в резултат на авария (фиг.1) и се наложи проектиране, изработване и монтиране на нова Францисова турбина. В несравнимо по-големи мащаби бяха разрушенията след аварията през 2009 г. в Саяно-Шушенската ВЕЦ (Русия). По принцип износването на някои от елементите на проточната част е основание за предприемане на действия за модернизирането ѝ.

## Кавитационно износване

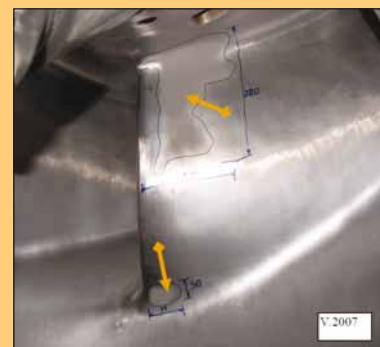
Известно е, че съвременните водни турбини се проектират за работа в начална фаза на развитие на кавитационни процеси в проточната част. Понякога турбините се експлоатират извън предписаните от производителя режими (например според изисквания, свързани с управлението на електроенергийната система), което води до ускорена кавитационна ерозия. Това съкращава (в някои случаи съществено) нормалния срок на експлоатация на турбините и необходимостта от модернизация на проточната част става очевидна. На фиг. 2 са показани работни лопатки на обратимата турбомашина от хидроагрегат №1 в ПАВЕЦ Чаира и развитието на кавитационна ерозия за период от 2 години (2005/2007 г.).

## Особености на модернизацията на водните турбини

Независимо от състоянието на турбината и нейните основни характеристики, процесът на модернизация най-често преминава през следните етапи:



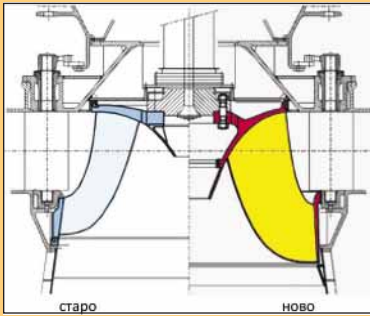
Фиг. 1.



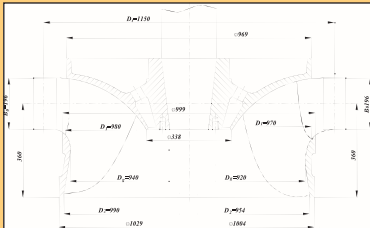
Фиг. 2.

1. Анализ на конструкцията и състоянието на турбината. Включва следния обем мероприятия:

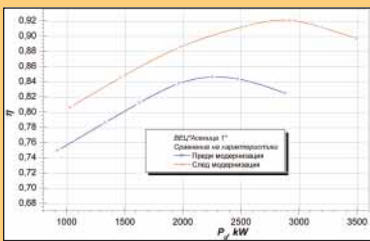
- Запознаване с наличната конструктивна документация. Измервания на геометричните характеристики на елементите от проточната част на турбината;
- Анализ на данните за режимите на работа;



Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.

- Анализ на възможностите за увеличаване на дебита, респ. мощността на турбината;
  - Установяване на реалните стойности на външните параметри (дебит, напор, мощност) на турбината за разчетния режим на работа;
  - Експериментално определяне на работните характеристики на турбината.
2. Изготвяне на доклад с анализ и

системна оценка на технико-икономическите аспекти на модернизацията. Дефиниране на диапазона по отношение обема на работите (крайното решение се взема от собственика на централата).

3. Пресмятане и конструиране на елементите – обект на модернизацията. При необходимост – провеждане на моделни изследвания.

4. Изработване на модернизираните елементи и монтиране на турбината.

5. Пускане в експлоатация, опитно определяне на характеристиките на модернизираната турбина. Мониторинг на работата на хидроагрегата.

### Често срещани проблеми при модернизацията

При модернизацията на водните турбини най-често възникват следните проблеми:

- Ограничения (особено при по-старите конструкции) от гледна точка на осигуряването на геометрична съвместимост на модернизираните със съществуващите елементи от проточната част на турбината.
- Осигуряване на съответствие на кинематичните параметри на течението на входа на работното колело с тези на изхода на направляващия апарат (при реактивните турбини). Затова често се налага модернизирането и на двете лопатъчни системи с цел постигане на необходимата съгласуваност в работата.
- Крайно ограничени възможности за промяна на диаметровото отношение при Пелтоновите турбини.

- Ограничени възможности за намаляване на хлабините между работното колело и работната камера, без да се модернизируют лагерите на турбината.

### Примери за модернизация на Францисови водни турбини

При реактивните турбини модернизацията на проточната част обхваща най-често работното колело и направляващия апарат. На фиг. 3 е направено сравнение на меридианните проекции на старото и новото работно колело на Францисова турбина от ВЕЦ Solina (Полша). Двете турбини в централата са модернизираны от фирмата Voith Hydro (Австрия). В резултат на модернизацията на работните колела ефективната мощност е нараснала от 45 MW на 73 MW. Модернизирани са също системата за управление и възбуждането на генераторите.

На фиг. 4 са показани меридианните проекции на старото и новото работни колела на турбини №1 и 2 във ВЕЦ Асеница 1, а на фиг. 5 е направено сравнение на зависимостта на  $k.p.g.$  от генераторната мощност преди и след модернизацията.

Вижда се, че в резултат на направената модернизация се е повишила забележимо ефективността на работния процес практически в целия експлоатационен диапазон. В оптималния режим на работа ( $P_g$  2300 kW) турбината работи с около 6% по-висок  $k.p.g.$ , а при максимално натоварване стойностите на  $k.p.g.$  са по-високи с почти 10%. Забележимо е нараснала и максималната стойност на мощността.



## КОНТРОЛТЕСТ ООД

[www.controltest.eu](http://www.controltest.eu)

София 1592, бул. Асен Йорданов 12  
 тел.факс/ +359 2 978 81 14, +359 2 978 67 88  
 e-mail: [ndt@controltest.eu](mailto:ndt@controltest.eu)




ИЗКУСТВОТО ДА БЪДЕШ ПЪРВИ!

- Котли – парни и водогрейни с мощност над 116.3 kW
- Метални съдове
- Съдове за хладилни уреди
- Тръбопроводи за водна пара
- Газови съоръжения и инсталации
- Повдигателни съоръжения
- Асансьори товарни платформи

неразрушаващ контрол



механични изпитания



контрол на ел. Величини

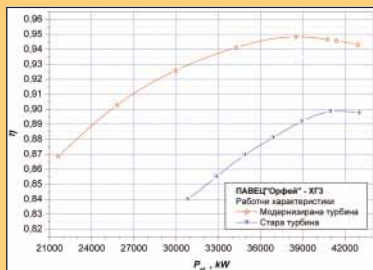


надзор на СПО



технически инспекции





Фиг. 6.



Фиг. 7.

На фиг. 6 е показан резултатът от успешната модернизация на Францисовата турбина от хидроагрегат №3 в ПАВЕЦ Орфей от Voith Hydro. Вижда се, че след направената модернизация значително се е повишила ефективността на работния процес в целия експлоатационен



Фиг. 8.

диапазон и особено при по-ниските товари. Например при мощност 31 MW разликата между к.п.г. на модернизираната и старата турбина достига до 9%.

На фиг. 7 са показани старото и новото работно колело на Каплановата водна турбина от ВЕЦ Железни Врата 1 (Румъния). В резултат на модернизацията мощността на всяка от 6-те турбини е нараснала от 175 MW на 194.4 MW.

Пълният цикъл на проектиране при модернизацията на водни турбини е илюстриран на фиг. 8. Модернизирани са двете Капланови турбини в корейската ВЕЦ Suncheon (напор 30.7 m, ефективна мощност 34 MW). Модернизацията е извършена от японската фирма Toshiba. Направено е числено моделиране на работното

коело чрез последователно прилагане на задачите за синтез на лопатъчната система и анализ на течението през нея. На основата на получените резултати е проектиран модел, който е изпитан в хидравличната лаборатория на Toshiba Corporation. След това са проектирани и изработени работни коела за двата хидроагрегата. Опитните изследвания са показали нарастване на стойностите на к.п.г. с над 4% практически в целия експлоатационен диапазон.

## Примери за модернизация на Пелтонови турбини

Обект на модернизация при Пелтоновите турбини най-често е работното колело, а в някои случаи и гюзата и дюзата на направляващо-



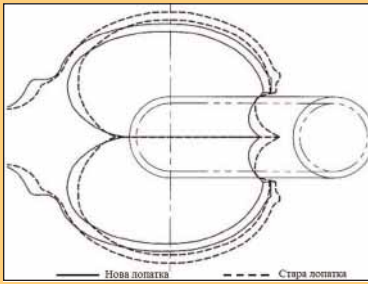
Лабораторията е създадена в периода 2002 - 2008г. в Техническия университет – София на площ от 900m<sup>2</sup>. Тя е изградена с ума, труда и парите на преподаватели, докторанти, студенти и спомоществатели (над 30 фирми изключително от енергийния сектор). Това е единствената лаборатория в България, в която могат да се провеждат моделни изследвания, както и да се разработват модели на различни видове водни турбини в съответствие с изискванията на IEC. В лабораторията са инсталирани 8 стенда:

- Стенд №1: Вертикални Пелтонови турбини;
- Стенд №2: Хоризонтални Францисови турбини;
- Стенд №3: Двукратни турбини;



- Стенд №4: Универсален стенд (вертикални Францисови турбини и обратими турбомашини);
- Стенд №5: Осови турбини;
- Стенд №6: Аеростенд (изпитване на затворни съоръжения и вентилатори);
- Стенд №7: Вятърни двигатели;
- Стенд №8: Хидрокинетични турбини.

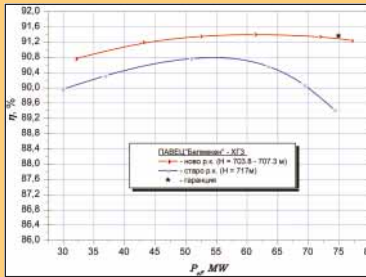
От 2006г. в лабораторията провеждат лабораторни упражнения над 250 студенти годишно от 2 факултета на Техническия университет и от МГУ "Св. Иван Рилски". Научно-изследователската работа е ориентирана изключително в областта на хидро- и ветроенергетиката.



Фиг. 9.

то устройство. На фиг. 9 е направено сравнение между хоризонталните проекции на старата и модернизираната (от фирмата Hetch Hetchy Water and Power - Сан Франциско) лопатка на Пелтоновата турбина от ВЕЦ Моссасин (САЩ). Модернизирано е и направляващото устройство (възълът на гюзата е увеличен от 800 на 900, а на иелата – от 500 на 600).

На фиг. 10 са сравнени работните характеристики на Пелтоновата турбина от хидроагрегат №3 в ПА-ВЕЦ Белмекен преди и след модернизацията на проточната част (работно колело и направляващо устройство) от фирмата VA TECH (Австрия). Вижда се, че в целия диапазон на изменение на мощността, измерените стойности на к.п.г. на турбината с новото работно колело са по-високи от тези със старо-



Фиг. 10.

то, като в зоната на максималните мощности разликата нараства и достига 1.7%.

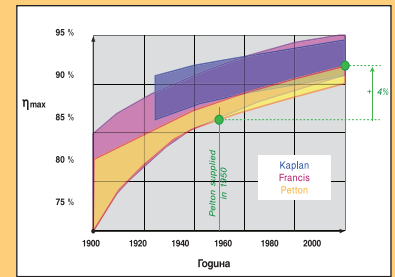
### Заклучение

След направена модернизация на една водна турбина могат да се очакват следните по-съществени резултати:

1. Нарастване производството на електроенергия от хидроагрегата. Основните причини за това са:

- Повишаване ефективността на работния процес в турбината;
- По-ефективно управление на турбината и хидроагрегата;
- Ако има възможност, при модернизацията на реактивните турбини не е трудно да се повиши пропускателната способност на работното колело.

На фиг. 11 е показано нараства-



Фиг. 11.

нето на максималните стойности на к.п.г. на основните видове водни турбини през XX век в резултат на технологичното развитие в хидротурбостроенето (по данни на Andritz Hydro).

2. По-висока кавитационна устойчивост на проточната част на турбината (резултат на съвременните методи за пресмятане, както и на новите материали).

3. Намаляване на експлоатационните разходи.

4. По-ефективно аериране на водата.

5. Намаляването на хлабините между работното колело и камерата при Каплановите водни турбини, освен намаляване на обемните загуби, води и до намаляване на риска за рибите.

6. Съвременните технологии позволяват да се намали до минимум рискът от замърсяване на водата с масло и грес (при Каплановите и диагоналните турбини).

7. По-висока надеждност на турбината и хидроагрегата.

## Modernization of Hydro Turbines

Modernization of hydro turbines is a complex of operations aimed at extending the life and improving workflow efficiency of the turbines. The article discusses the different stages in the process of modernization and examines concrete examples from the world practice.



Има енергия във  
**ВОДАТА...**

... и ние знаем как  
**да я използваме**

 **CINK** Hydro - Energy k.s.



[cink@cink-hydro-energy.com](mailto:cink@cink-hydro-energy.com), [www.cink-hydro-energy.com](http://www.cink-hydro-energy.com)