

Повишаване на ефективността на водни турбини

Повишаването на ефективността на енергийното оборудване е един от най-важните проблеми на съвременната енергетика (в т. ч. и хидроенергетиката). В България има над 140 ВЕЦ и 4 ПАВЕЦ, в които от началото на XX век досега са инсталирани различни видове водни турбини и обратими турбомашини с мощност от няколко десетки до 216 000 kW. Географските дадености на страната обуславят широкото използване на активни и реактивни водни турбини, при това във всички сегменти (малки, средни и големи ВЕЦ). От тази гледна точка въпросът за модернизирването на проточната част

В. С. Обретенов

на съществуващите водни турбини, както и за проектирането на нови, високоефективни турбини, е значим. Може да се каже, че на практика възможностите за повишаване на тяхната ефективност най-общо се свеждат до следното:

- Усъвършенстване на проточната им част (основно лопатъчните системи на работните колела и взаимодействието им с другите елементи от проточната част);
- Осигуряване на оптимални условия за работа в енергийната система.

Модернизация на проточната част Активни водни турбини

Ефективността на работа на

една водна турбина са определя главно от стойностите на к. п. г. в експлоатационния диапазон. Известно е, че при активните водни турбини стойността на хидравличния им к. п. г. зависи от следните величини:

$$\eta_n = f(\xi, \beta_1, \beta_2, \psi, k_{c1})$$

Анализът на горното уравнение дава възможност да бъдат направени следните по-важни изводи:

1. Намаляването на относителните хидравлични загуби ξ при взаимодействието на струята с работните лопатки еднозначно води до увеличаване стойността на η_n .
2. Ъглите β_1 и β_2 определят ъгъла на завъртане на вектора на относи-



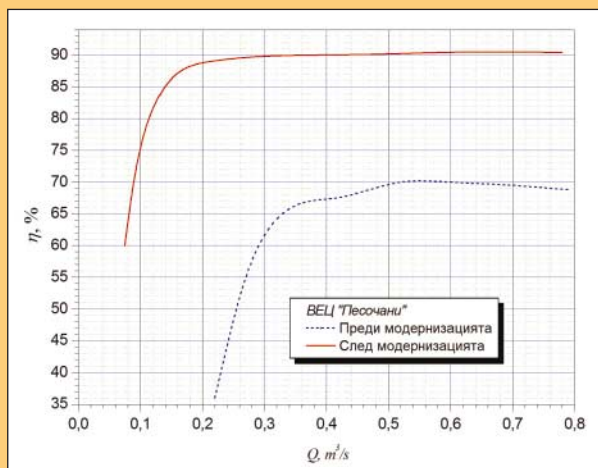
Лабораторията е създадена в периода 2002 - 2008г. в Техническия университет – София на площ от 900m². Тя е изградена с ума, труда и парите на преподаватели, докторанти, студенти и спомоществатели (над 30 фирми изключително от енергийния сектор). Това е единствената лаборатория в България, в която могат да се провеждат моделни изследвания, както и да се разработват модели на различни видове водни турбини в съответствие с изискванията на ИЕС.

- В лабораторията са инсталирани 8 стенда:
- Стенд №1: Вертикални Пелтонови турбини;
 - Стенд №2: Хоризонтални Францисови турбини;
 - Стенд №3: Двукратни турбини;

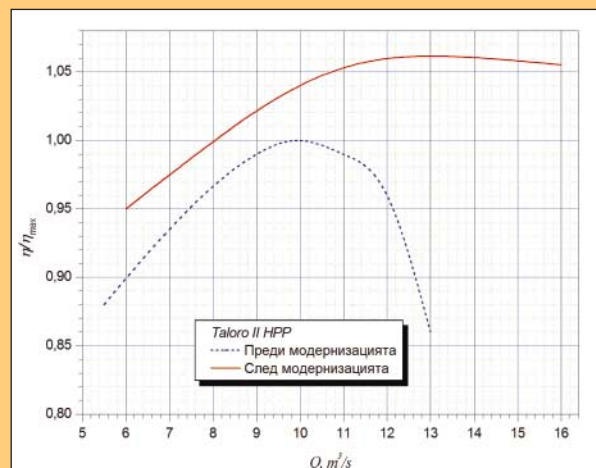


- Стенд №4: Универсален стенд (вертикални Францисови турбини и обратими турбомашини);
- Стенд №5: Осови турбини;
- Стенд №6: Аеростенд (изпитване на затворни съоръжения и вентилатори);
 - Стенд №7: Вятърни двигатели;
 - Стенд №8: Хидрокинетични турбини.

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. 1. Сравнение на работни характеристики (ВЕЦ "Песочани").



Фиг. 2. Сравнение на работни характеристики (ВЕЦ Talloro II).

телната скорост и следователно оказват влияние върху стойността на силата, която струята упражнява върху работните лопатки.

3. Скоростният коефициент k_{c1} характеризира загубите на енергия в направляващия апарат на турбината. Опитните изследвания показват, че $k_{c1}=0.96\div 0.98$.

4. Режимният параметър $\psi = u/c$ представлява отношение на преносната скорост към скоростта на струята. Оптималната му стойност обикновено е в границите $\psi_{opt} 0.46\div 0.49$.

За повишаване ефективността на работния процес при активните турбини (в частност пелтоновите като най-разпространени от тях) е необходимо усилията да бъдат насочени главно към усъвършенстване геометрията на работното колело (над 85% от енергийните загуби в пелтоновите турбини се реализират в този елемент от проточната част), както и на направляващия апарат. Модернизацията на тези елементи в някои случаи може да доведе до съществено повишаване на ефективността на работа. На фиг. 1 е показан резултатът от усъвършенстването на проточната част на пелтонова турбина от хидроагрегат №2 във ВЕЦ Песочани (БЮР Македония), извършено от HYDROPOL Project & Management (Чехия). Вижда се, че в целия експлоатационен диапазон стойностите на к. п. г. са се увеличили с над 20% (очевидно преди това турбината е

била в много лошо състояние).

Реактивни водни турбини

При реактивните водни турбини стойността на хидравличния к. п. г. зависи от следните параметри:

$$\eta_h = f(\beta_1, \beta_2, \varphi_1, \varphi_2, \psi_1, \psi_2, \delta).$$

Анализът на зависимостта позволява да бъдат направени следните по-важни изводи:

1. Ефективността на работа на турбината зависи от геометрията на лопатъчната система на работното колело (ъглите β_1, β_2).

2. Върху ефективността на работния процес оказват влияние и външните параметри на турбината (напор H , дебит Q , честота на въртене n), както и геометрията на входящия и изходящия ръб на работните лопатки, чрез които се определят коефициентите на дебит φ и напор ψ за входа (индекс 1) и изхода им (индекс 2).

3. От съществено значение за ефективната трансформация на енергията е съответствието на кинематичните параметри на течението след изхода на направляващия апарат и на входа на работното колело.

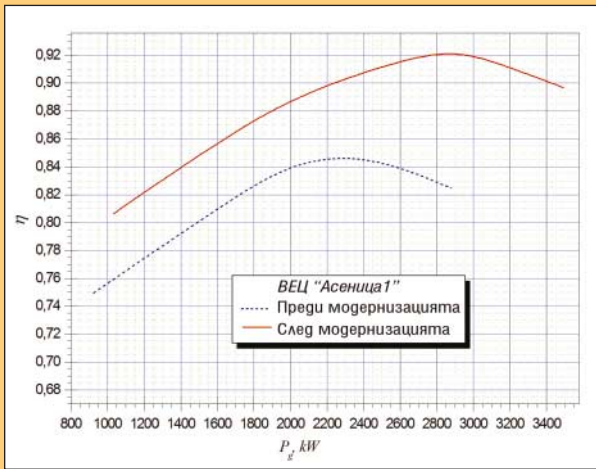
4. При турбините с подвижни работни лопатки (осовите турбини тип Каплан и диагоналните турбини) важно значение има положението на работните лопатки (т. нар. ъгъл на поставяне), както и комби-

наторната зависимост (зависимостта на ъгъла δ от отварянето на направляващия апарат и напора на турбината).

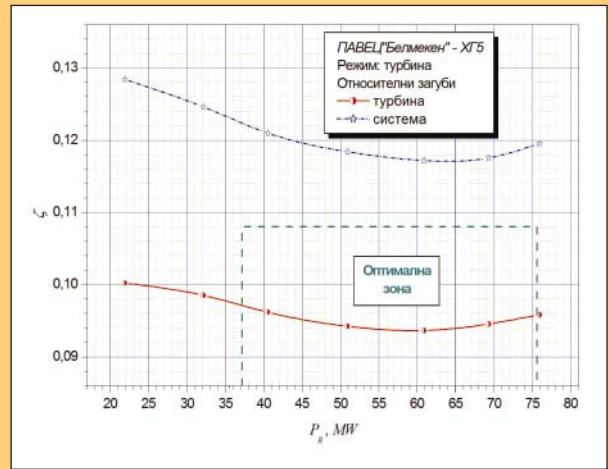
На фиг. 2 са показани работните характеристики (к. п. г. - дебит) на франциска водна турбина от ВЕЦ Talloro (Италия), преди и след модернизацията на проточната част, извършена от VA TECH HYDRO (Австрия). Измерванията показват, че максималната стойност на к. п. г. е нараснала с около 5%, а мощността - почти с 15%.

На фиг. 3 са представени аналогични резултати от модернизацията на проточната част на франциска водна турбина от ВЕЦ Асеница 1 (България). Вижда се, че забележимо се е повишила ефективността на работния процес практически в целия експлоатационен диапазон. Например в оптималния режим на работа на старата турбина (стойност на генераторната мощност $P_g \approx 2300 \text{ kW}$), модернизиранията турбина работи с около 6% по-висока стойност на к. п. г., като разликата нараства до 10% за режима с максимална мощност. Освен това максималната мощност на модернизиранията турбина се е повишила с около 30% както поради по-високата ефективност на работния процес, така и поради повишената пропускателна способност на лопатъчната система на новото работно колело.

Както е известно, съвременните изчислителни схеми за пресмятане на лопатъчните системи на хидравлич-



Фиг. 3. Сравнение на работни характеристики (ВЕЦ "Асеница 1").



Фиг. 5. Оптимален режим на работа (ПАВЕЦ "Белмекен").



Фиг. 4. Изчислителна схема.

задачи: синтез на геометрията на лопатъчната система и анализ на характеристиките на течението през нея. На фиг. 4 е показана типична блокова схема за оптимално проектиране (параметрична оптимизация) на лопатъчни системи на водни турбини, прилагана и у нас. Изчислителната процедура продължава до удовлетворяване на изискванията на техническото задание (ТЗ).

Оптимизиране режимите на работа на хидроагрегатите

Оптимизирането на режимите на работа на хидроагрегатите при работата им в енергийните системи е един от начините за повишаване на тяхната ефективност. Оптималната работа на хидроагрегати-

те в енергийните системи може да бъде осигурена само ако се познават реалните им характеристики за всички режими, в които те се експлоатират. Следва да се има предвид, че тези характеристики се изменят във времето и е необходима актуализация (този период у нас нормативно е 5 години). Друг важен въпрос, непосредствено свързан с ефективността на работата на хидроагрегатите, е определянето на водните обеми, изразходвани за производството на електроенергия.

Основната задача при оптимизирането на режимите на работа на хидроагрегатите е определянето на работните им характеристики за всички режими на работа в експлоатационния диапазон, на основата на резултати от опитни изследвания.

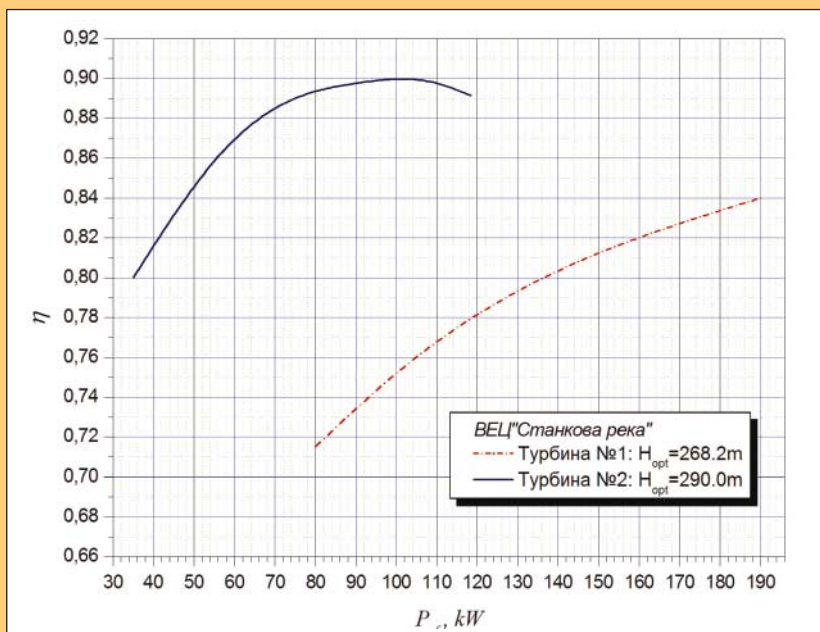
ните турбомашини се основават на последователното прилагане на двете взаимно свързани хидродинамични

Има енергия във
ВОДАТА...

... и ние знаем как
да я използваме

CINK Hydro - Energy k.s.

cink@cink-hydro-energy.com, www.cink-hydro-energy.com



Фиг. 6. Работни характеристики на водни турбини (ВЕЦ "Ст. река").

Режимите на работа се дефинират от диапазона на натоварванията и на напорите, при които се експлоатират турбините. Основният проблем се състои в това, че измервания обикновено се провеждат само за определени стойности на напора. Това налага често да бъдат използвани изчислителни процедури за пресмятане на техните характеристики за други стойности на напора, които в някои случаи са обременени от неточности.

На фиг. 5 е показано изменението на относителните загуби в пелтоновата турбина от хидроагрегат №5 на ПАВЕЦ Белмекен и в системата (хидроагрегат и напорен тръбопровод) за различни стойности на активната мощност на генератора. Известно е, че пелтоновите турбини по принцип запазват ниско ниво на енергийните загуби в широк диапазон от режими, което се дължи на особеностите на работния процес в тях.

Оптималната зона за работа на изследвания хидроагрегат (в нея загубите нарастват с 5%) е при стойности на активната мощност

на генератора $P_g = 37 \div 75\text{ MW}$. Резултатите от опитните изследвания показват, че в интервала $(0.3 \div 1.0)$ от максималната стойност на активната мощност на генератора, общите енергийни загуби в системата се изменят с 9.6%, а само в турбината със 7%.

Когато в централата са инсталирани няколко хидроагрегата, важно значение (от гледна точка на ефективното им използване) има съвместната им работа. Този проблем се решава чрез разработване на т. нар. режимна таблица на централата.

За ВЕЦ с малка мощност един от най важните проблеми е ефективно оползотворяване на разполагаемия хидроенергиен потенциал. Известно е, че степента на оползотворяването му обикновено е под 60% и това е един от основните недостатъци на малките ВЕЦ. Много често инвеститорите инсталират в централите хидроагрегати, съобразявайки се с максималните стойности на дебита, като игнорират обстоятелството, че най-често те са на разположение 2-3 месеца в

годината. Този проблем може да бъде решен чрез инсталиране на втори хидроагрегат с по-малка мощност, която е съобразена с реалните стойности на дебита, определени на основата на анализ на данни от наблюдения за достатъчно дълъг период от време. Типичен пример е малката ВЕЦ Станкова река, в която през 2009 г. е инсталиран хидроагрегат с пелтонова турбина (максимална мощност 958 kW при дебит 400 l/s). Експлоатацията му показва, че много често се налага хидроагрегатът да работи с минимална мощност, чието ограничение е 80 kW (или въобще да не работи). За по-пълното оползотворяване на разполагаемия хидроенергиен потенциал беше инсталиран втори хидроагрегат с пелтонова турбина, който работи с максимална мощност 110 kW (при дебит 46 l/s) и има възможност да оползотворява дебити дори под 5 l/s. На фиг. 6 е направено сравнение на работните характеристики на двете турбини (к. п. г. – ефективна мощност).

Очевидно е, че малката турбина (турбина №2) 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 до забележимо нарастване на произведената електроенергия (на практика от септември 2012 г. до февруари т. г. работи само тази турбина).

Повишаването на ефективността на работата на водните турбини е възможно да бъде постигнато по следните начини:

А. При проектирането на турбините:

- Правилно определяне на основните параметри на турбината;
- Прецизно оразмеряване на елементите от проточната им част.

Б. По време на експлоатацията на турбините:

- Определяне на реалните характеристики на машините;
- Модернизация на елементите от проточната им част;
- Оптимизиране работата на хидроагрегатите чрез разработване на режимните характеристики на ВЕЦ.

Improvement of the Water Turbines Efficiency

The accent of the article is on the modernization of flow-throw part of the existing turbines and the design of new, highly efficient ones. The methods for operation, optimization and improvement of efficiency are examined.