

Моделни изпитвания на водни турбини

В. С. Обретенов

Видове моделни изследвания и опитни уредби

Създаването на нови водни турбини за хидроенергетиката е дефинитивно свързано с провеждането на моделни изследвания (физически експерименти). От една страна, използваните днес числени модели се основават на предположения, игнориращи в определена степен някои от реалните характеристики на течението в проточната част на турбините, а от друга - доставчикът на машините е задължен да гарантира техническите им характеристики (енергийни и кавитационни) с много голяма точност. Всичко това налага изпитването на физически модели в лабораторни условия в съответствие с изискванията на стандарта 60193 на IEC. Резултатите от тези изследвания дават възможност да бъдат прогнозирани с висока точност енергийните и кавитационни характеристики на турбините в експлоатационния им диапазон. Освен това те позволяват да бъдат

валидирани използваните методи за проектиране на елементите от проточната част на турбините.

Задачата за определянето на техническите характеристики на водните турбини е много важна, защото решаването ѝ чрез натурни изпитвания изисква много време и средства, а и точността им отстъпва на тази на моделните изследвания. В някои случаи дори не е възможно извършването на натурни изследвания в необходимия обем (например поради невъзможност да се промени напорът). Освен това установяването на неопустимо несъответствие между гарантите и реалните характеристики на турбината води до много тежки последици за доставчика на машината.

В исторически план моделните изследвания винаги са имали много важно значение за развитието на хидротурбостроенето. Необходимостта от гарантиране на енергийните и кавитационните характеристики на турбините с много малки отклонения (например за стойностите на к. п. г. тези отклонения са

обикновено $\pm 1\%$), както и състоянието на енергийния пазар налагат провеждането на моделни изследвания. Моделните изследвания се отличават с висока точност и стойността им е по-ниска в сравнение с натурните.

В зависимост от характера на поставените задачи, моделните изпитвания на воднитетурбини могат да бъдат разделени на следните групи:

Енергийни. Целта им е определянето на стойностите на к. п. г., честотата на въртене, дебита, мощността, отварянето на направляващия апарат, ъглите на завъртане на работните лопатки (при Каплановите и диагоналните турбини), положението на иглата (при Пелтоновите турбини) за всички режими, представляващи интерес от гледна точка на експлоатацията на оригиналната турбина;

Кавитационни. Целта на тези изпитвания е определянето на критичните стойности на коефициента на кавитация за всички работни режими, достъпни за изследване.

Разгонни. Целта е определянето на граничната честота на въртене в експлоатационния диапазон на турбината;

Model testing of hydro turbines

The construction of new water turbines for hydropower is associated with the implementation of model tests in laboratory conditions in accordance with the standard of IEC 60193. The article presents the different types of model tests and test systems, and analysis of the leading world laboratories for hydro turbines.

Силови. Определят се силите и моментите, действащи върху елементите на турбината;

Динамични. Изследва се изменението на характерни параметри (например изменението на налягането в елементите на проточната част, честотата на въртене, въртящия момент, дебита и др.), главно в преходните режими на работа;

Якостни. Задачата им е определянето на напреженията в отделните елементи от проточната част на турбината.

Опитните изпитвания на моделите се извършват на основата на законите за подобие на теченията в моделната и оригиналната турбина. Условиата, необходими за провеждането на моделните изпитвания, се осигуряват от турбинните опитни уредби (стендове). По своето предназначение и схемно решение те биват:

Енергийни уредби. Използват се за провеждането на енергийни, силови и разгонни изпитвания. Когато са предназначени за изпитване на реактивни турбини, напорът при тях е с по-ниски стойности. Опитът показва, че увеличаването на напора в тези уредби не води до забележимо повишаване на точността на измерванията. Реализират се най-често по

Таблица. 1.

№	Лаборатория	D1, mm	H, m
1	LAVA L (Канада)	500	50
2	СКД (Чехия)	500	120
3	ЦКТ И (Русия)	500	35
4	EPFL (Швейцария)	500	120
5	IWH R (Китай)	500	150

отворена схема - резервоарите преди и след турбината са отворени към атмосферата.

Важно предимство на тези стендове е възможността да се осигури такова съдържание на въздух във водата, което да отговаря на условията на работа на оригиналните турбини;

Кавитационни уредби. Предназначени са за провеждане на кавитационни и динамични изследвания. Характерно за тях е, че се реализират по затворена схема (без достъп на въздух от атмосферата) и изпитванията се провеждат при много високи напори.

Универсални уредби. На тези уредби могат да се провеждат практически всички видове изследвания. Обикновено се реализират по затворена схема, но напорите са по-ниски в сравнение с кавитационните стендове. Те намират най-широко приложение в практиката.

Специализирани уредби. Използват се за провеждане на специални изследвания, например кавитационно-ерозиивно износване на различни метали, прилагани в хидротурбостроенето, изследване на уплътнения, лагери и др.

От голямо значение за точността на моделните изследвания и ограничаването на влиянието на т. нар. мащабен ефект (изменението на стойностите на к. п. г. с промяната на размерите) е стойността на основния диаметър на моделната турбина. Обикновено той е в границите 250-600 mm.

Анализ на състоянието на водещи световни лаборатории

Известно е, че лаборатории за моделни изпитвания на водни турбини притежават само големите фирми в областта на хидротурбостроенето. Анализът на данните за обо-

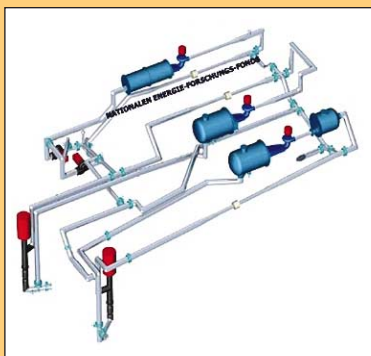


Има енергия във
ВОДАТА...

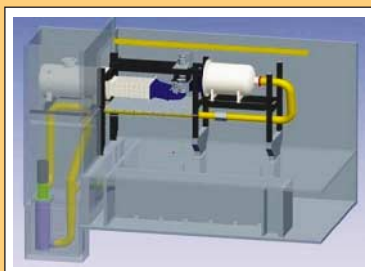
... и ние знаем как
да я използваме

CINK Hydro - Energy k.s.

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



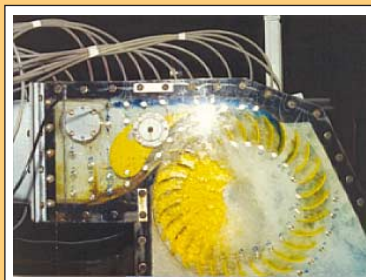
Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

рудването на над 20 лаборатории на водещи фирми в областта на хидротурбостроенето и технически университети в света (както и на техните характеристики) дават основание да бъдат направени следните по-важни изводи:

1. Наблюдава се тенденция за увеличаване на основния диаметър

на изпитваните модели над минималните стойности, изисквани от IEC стандарта 60193. Анализът на данните показва, че през последните две десетилетия непрекъснато нарастват стойностите на напорите на универсалните стендове в съвременните лаборатории. Това естествено води до увеличаване на инсталираните мощности, респективно - до осъпяване на съоръженията, но има едно много важно предимство: ограничава влиянието на мащабния ефект. В табл. 1 са посочени максималните стойности на напора (H) и основният диаметър (D1) на турбините от стендовете за изпитване на водни турбини в някои известни лаборатории.

2. Възможност за провеждане на кавитационни и специални изследвания. Приложението на т. нар. отворени стендове е ограничено предимно за изпитване на Пелтонови и хидрокинетични турбини. На фиг. 1 е показана схема на модернизирани стендове на лабораторията за изпитване на хидравлични машини (Le Laboratoire des Machines Hydrauliques – LMH) на EPFL (Лозана). На фиг. 2 е показан 3-D модел на универсалния стенд за изпитване на водни турбини на лабораторията по хидравлични машини (LAMH) на LAVAL University (Канада), а на фиг. 4 – общ вид на универсалния стенд за изпитване на реактивни водни турбини и обратими турбомашини в новата лаборатория на фирмата SKD Vlánsko (Чехия).

3. Всички водещи технически университети, които обучават студенти в областта на хидроенергетиката, разполагат със съвременни хидравлични лаборатории. Някои от тях (EPFL – Швейцария, LAVAL - Канада, US - Германия) имат статут на национални независими лаборатории и провеждат моделни изследвания по поръчка на фирми-производители на хидроенергийно оборудване от цял свят. Важно предимство на университетските ла-

боратории е тяхната независимост. Това дава възможност на възложителите да задават въпроси, да получават ясни и компетентни отговори, както и надежно да съхраняват своето know-how.

4. Значението на качествените хидравлични лаборатории нараства от гледна точка на техните възможности за верификация на резултатите от изчисленията, направени с разработените методи за синтез на проточната част на различните видове водни турбини. Това дава възможност за рязко съкращаване на времето за разработване на нови турбини. От гледна точка на спецификата на хидроенергийния пазар и в частност на т. нар. малка хидроенергетика, това е много важно предимство.

5. Наблюдава се стремеж за интеграция на малки фирми-производители на хидроенергийно оборудване с университетски лаборатории. Това им дава възможност да бъдат конкурентни на пазара с големите фирми, разполагащи с лаборатории. От друга страна, това е изгодно и за университетите, които имат възможност да модернизират лабораториите си и да разширяват обема на изследванията.

6. Висока степен на автоматизация на управлението, събирането и обработването на информацията от измерванията.

7. Турбинните стендове са конструирани по начин, елиминиращ механичните загуби чрез изключване или отделно измерване на момента от триене в лагерите на моделната турбина.

8. Висока точност на измерванията - средната относителна квадратична грешка при определянето стойностите на к. п. г. не надвишава 1%.

9. Стремеж към максимална визуализация на процесите в моделните турбини. Това позволява на изследователите да наблюдават работния процес в най-важните зони от про-



Фиг. 5.



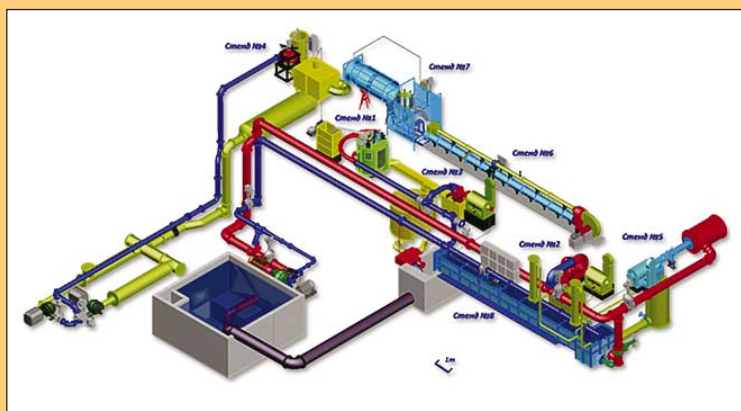
Фиг. 6.



Фиг. 7.

точната част на турбините (главно в зоната на работното колело). В отделни случаи дори цели елементи от проточната част (например изпускателната тръба при реактивните модели или корпуса при активните турбини) се изработват от органично стъкло. На фиг. 4 е показана моделна двукратна турбина в хидравличната лаборатория на техническия университет в Атина (NTUA), на фиг. 5 е показан моделният блок на стенд за изпитване на хоризонтални Пелтонови турбини в лабораторията на Alstom (Франция), а на фиг. 6 – моделният блок за изпитване на Пелтонови турбини в лабораторията на Andritz (Австрия).

10. В хидравличните лаборатории на големите технически университети се обучават голям брой докторанти. Например в лаборатория-



Фиг. 8.

та LMH на EPFL през 2012 г. са повишавали квалификацията си 14 докторанти. За нормалното си функциониране университетските лаборатории поддържат сравнително голям технически персонал. Например в споменатата по-горе лаборатория LMH работят 6 инженери и 9 техници.

11. В последно време все по-голямо внимание се отделя на екологичните аспекти при експлоатацията на водните турбини и особено на осовите, предвид използването им в схеми с ниски напори (в тези случаи спецификата на съоръженията застрашава в по-голяма степен живота на рибите). От тази гледна точка, усилията на редица институти и изследователи се насочиха към провеждането на системни изследвания за разработване на лопатъчни системи на работното колело и направляващия апарат на реактивните водни турбини, които да не нанасят поражения на рибите, преминаващи през тях (т. нар. fish friendly турбини). Стремешът на изследователите да наблюдават пряко процесите в проточната част на водните турбини от този вид води до конструирането на лабораторни модели, които са изпълнени почти изцяло от органично стъкло. На фиг. 7 е показана такава моделна турбина, монтирана в лабораторията на Engineering Research and Development Center at Vicksburg, Mississippi (САЩ).

Лаборатории в България

В България двете предприятия, които произвеждат водни турбини (ВАП Хидро и Енергоремонт Пловдив), не разполагат и никога не са разполагали с лаборатории за моделни изпитвания на водни турбини. От друга страна данните сочат, че в света само големите технически университети са тези, които провеждат изследователска дейност в областта на хидроенергетиката и разполагат със съответните лаборатории. В нашата страна единствено в МЕИ - София имаше такава лаборатория, създадена от проф. В. Геров още през 50-те години на миналия век (неразумно разрушена през 2000 г.) Понастоящем единствената лаборатория, в която могат да бъдат провеждани моделни изпитвания на водни турбини в съответствие с изискванията на IEC стандарта 60193, е лабораторията по хидроенергетика и хидравлични турбомашини (лаборатория ХЕХТ) на Техническия университет в София. Тя е създадена в периода 2001-2006 г. В нея са инсталирани 6 турбинни стенда, на които могат да бъдат изпитвани Францисови, Пелтонови, Капланови, двукратни и хидрокинетични турбини, както и обратими турбомашини. На фиг. 8 е показана схема на стендовете в лабораторията.

Представеният анализ е част от изследвания, направени по научната програма на проекта ДУНК-01/3, финансиран от МОМН.