

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МОДЕЛНИ РАБОТНИ КОЛЕЛА ЗА ДВУКРАТНИ ВОДНИ ТУРБИНИ

Валентин ОБРЕТЕНОВ, Цветан ЦАЛОВ, Калин АНГЕЛОВ
 v_obretenov@tu-sofia.bg, tsalov@tu-sofia.bg, k_mlademirov@tu-sofia.bg

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

Резюме

Изследвано е влиянието на широчината на работното колело и дюзата върху енергийните характеристики на моделна двукратна водна турбина. Представени са универсални характеристики на моделна турбина, изпитана в лаборатория ХЕХТ на ТУ – София. Анализирани са резултатите от изследванията и на тази основа са направени препоръки относно проектирането и експлоатацията на този вид турбини.

Ключови думи: Двукратна турбина, работно колело, дюза, универсална характеристика, к.п.д.

Въведение

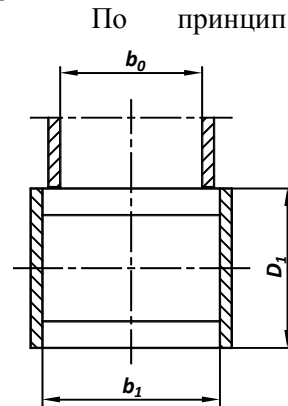
Двукратната водна турбина намира широко приложение във ВЕЦ с малка мощност. Независимо от по-ниската ефективност на работния процес (в сравнение с Пелтоновата и Францисовата водни турбини), тя има някои много важни предимства: висока степен на унификация на конструкцията, запазва високи стойности на к.п.д. в много широк диапазон от режими, висока бързоходност, покрива широко поле от напори, оползотворява почти напълно разполагаемия геодезичен напор, ниска стойност на специфичните капиталовложения и др. Това я прави конкурентна на пазара за хидроенергийно оборудване и обуславя забележимото ѝ присъствие в сегмента на турбините, предназначени за усвояване на нископотенциални водни източници.

Известно е, че ефективността на работния процес при този вид турбини зависи в най-голяма степен от кинематичните параметри на течението на изхода на дюзата и входа на работното колело. Например стойността на хидравличния к.п.д. зависи от следните параметри [Обретенов, 2012]:

$$\eta_h = \frac{4k_{c1}^2 \sin(\beta_1 - \alpha_1) \sin \alpha_1 \cos \beta_1}{\sin^2 \beta_1}, \quad (1)$$

където k_{c1} е скоростния коефициент на абсолютната скорост на входа на работното

колело/изхода на дюзата (определя ефективността на процеса на трансформация на енергията в дюзата); α_1 - ъгъл на течението в изходното сечение на дюзата; β_1 - ъгъл на входа на работните лопатки.



Фиг.1. Работно колело и дюза

По принцип взаимодействието на отделните елементи от проточната част във всяка водна турбина е от съществено значение за ефективността на работния процес. От тази гледна точка при двукратните турбини най-важно значение има съгласуваността в работата на дюзата и работното колело. В контекста на казаното е очевидна значимостта на съответствието между широчините на дюзата (b_0) и работното колело (b_1) – фиг.1. Препоръките в специализираната литература се базират най-често на данни от изпълнени конструкции на двукратни турбини и могат да бъдат систематизирани в следните групи:

- Част от изследователите препоръчват широчината на дюзата да се пресмята, като

широчината на работното колело се намали с постоянна величина ($\Delta b = b_1 - b_0$): например в [Scheurer 1980] се препоръчва $\Delta b = 25\text{mm}$, докато в [Treinen 2005] тя е $\Delta b = 22\text{mm}$, а в [Breslin 1980] - $\Delta b = 15 \div 30\text{mm}$;

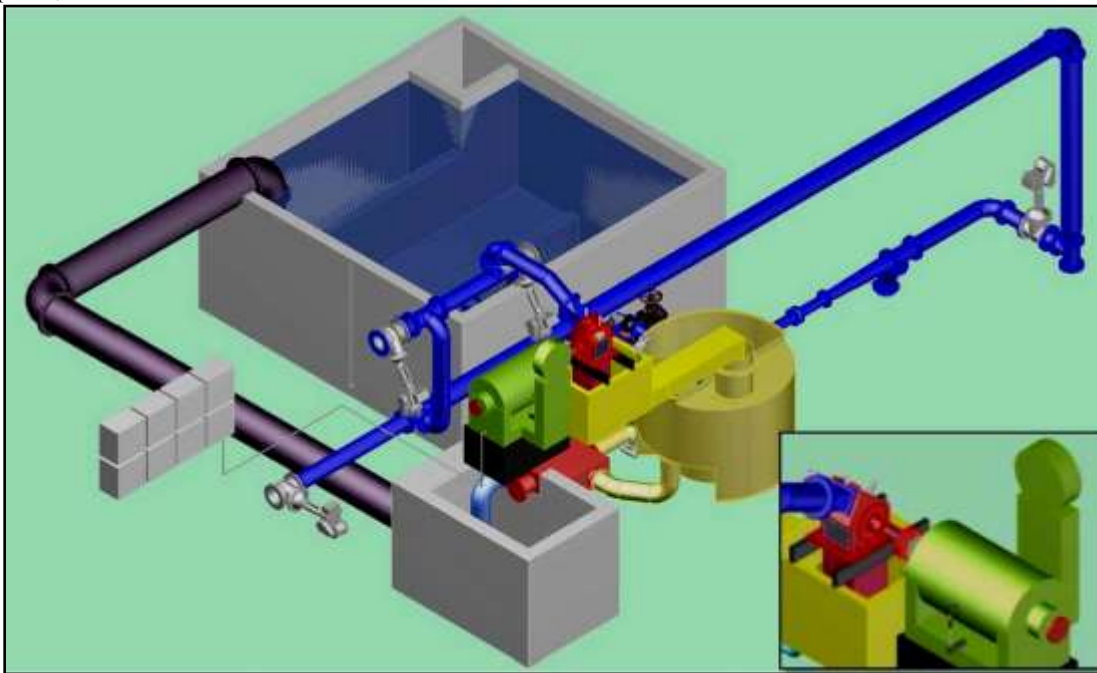
- Други автори дават препоръки за отношението на широчините на работното колело и дюзата ($k_b = b_1/b_0$). Например в [Pérez 2007] се препоръчва $k_b = 1.2 \div 1.4$, докато в [Nasir 2013] $k_b = 1.5$. В повечето публикации изчислителните схеми се основават на препоръките в [Mockmore, Mayfield 1949].

- В [Sammartano 2013] е направено числено изследване на влиянието на това отношение върху ефективността на трансформация на енергията в турбината и се установява, че за $k_b = 1.0$ к.п.д. на турбината е 85 %, докато при $k_b = 1.5$, стойността на к.п.д. е 78 %.

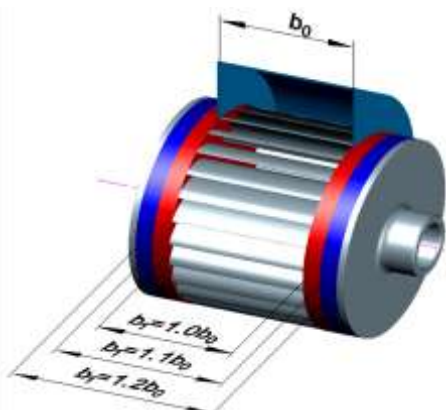
В тази работа са представени резултати от моделни опитни изследвания на работни колела на двукратна водна турбина с цел установяване влиянието на широчината им върху енергийните характеристики на турбината. Тези резултати са част от изследвания, направени по научната програма на проекта ДУНК-01/3, финансиран от MOMH.

Постановка на моделните изследвания

Изследванията са направени с моделна двукратна турбина, монтирана на стенд №3 в лаборатория ХЕХТ на ТУ – София [www.hydrolab.tu-sofia.bg]. Турбината е с основен диаметър на работното колело 270mm, наклонена спрямо хоризонта дюза (26°) и цилиндричен регулиращ орган. 3-D модел на стенда и на моделния блок са показани на фиг.2.



Фиг.2. Стенд №3 и моделен блок



Фиг.3. Работно колело

Опитните изследвания са направени с работни колела, чиято ширина е със стойности на коефициента $k_b = b_1/b_0$ съответно $k_b = 1.0$; 1.1 и 1.2 . Всъщност е използвано моделното работно колело B27L [www.hydrolab.tu-sofia.bg], като номиналната му ширина се намалява до желаните стойности чрез последователно запълване на междулопатъчните канали в зоната на двата диска с парафин – фиг.3. Работното колело е без междинни дискове, ширина му е $b_1 = 198\text{mm}$, а работните лопатки - с променлива кривина. Направени са пълни енергийни изследвания на турбината за 7 отваряния на

направляващия апарат с трите варианта на работното колело, в резултат на което са получени универсалните характеристики на моделната турбина. Това дава възможност за анализиране на енергийните качества на турбината практически в целия експлоатационен диапазон.

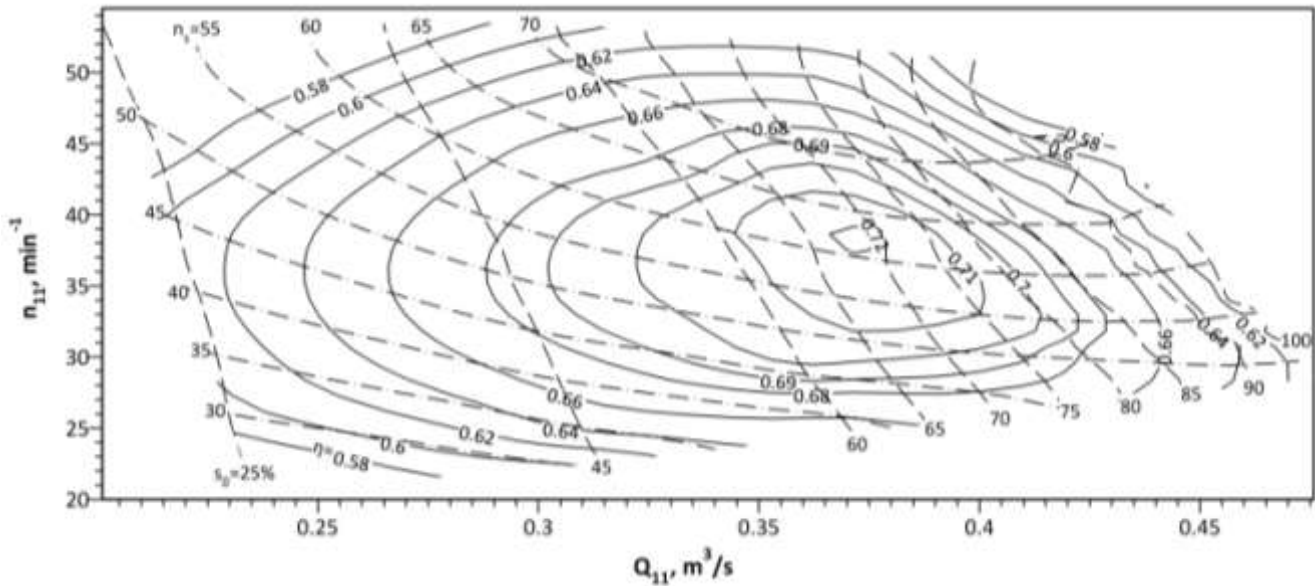
Резултати

На фиг.4 ÷ 6 са показани универсалните характеристики на моделната турбина с трите модификации на работното колело. В полето n_{11} (приведена еднометрова честота на въртене) – Q_{11} (приведен еднометров дебит) са изобразени

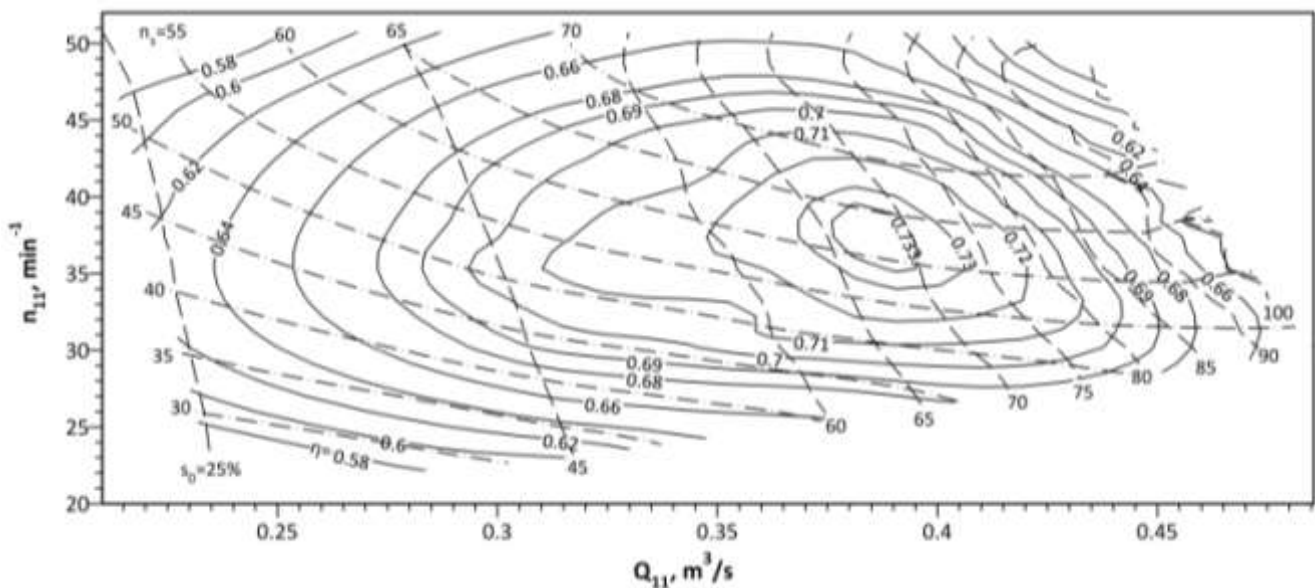
линиите на равни стойности на к.п.д. (η), относителното отваряне на направляващия апарат (s_0) и специфичната честота на въртене (n_s).

Универсалните характеристики дават възможност да се анализира влиянието на широчината на работното колело върху енергийните качества на турбината.

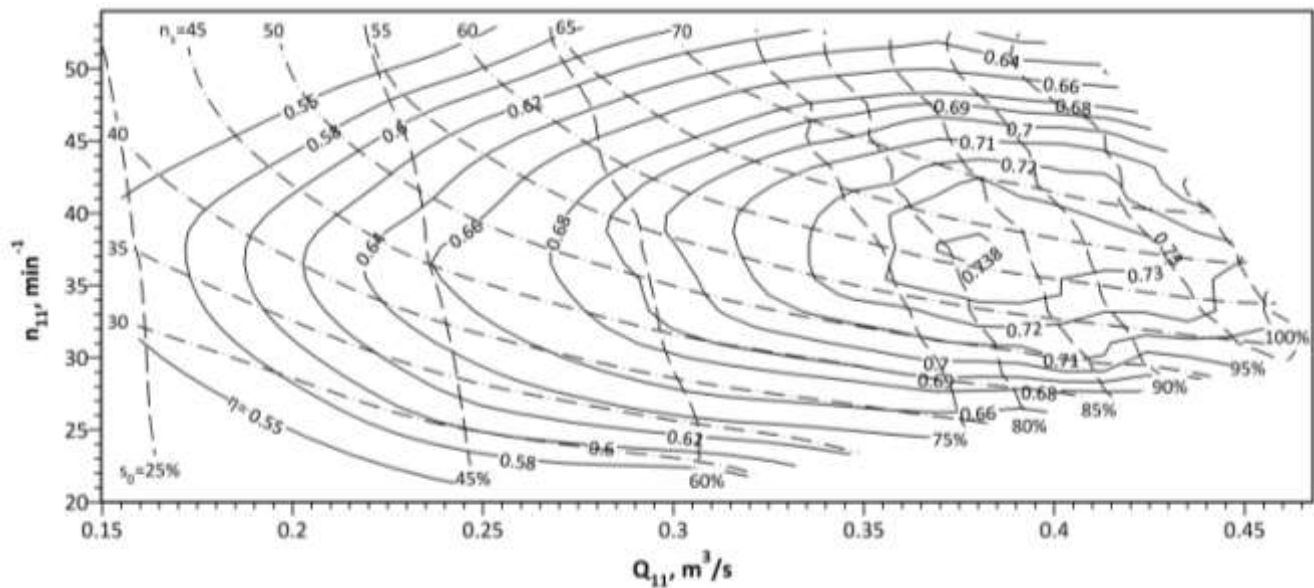
Данните от универсалните характеристики показват, че увеличаването на широчината на работното колело оказва известно, макар и слабо, влияние върху максималната стойност на к.п.д. на турбината.



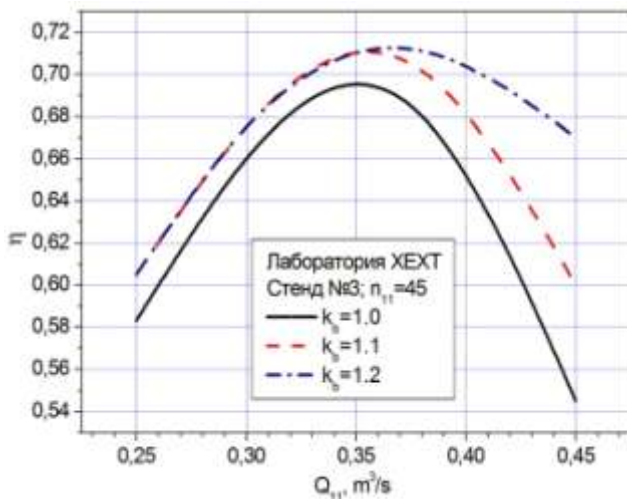
Фиг.4. Универсална характеристика ($k_b=1.0$)



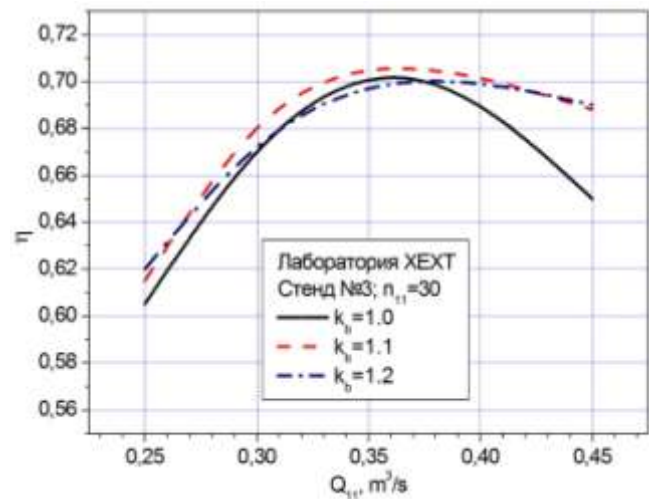
Фиг.5. Универсална характеристика ($k_b=1.1$)



Фиг.6. Универсална характеристика ($k_b=1.2$)

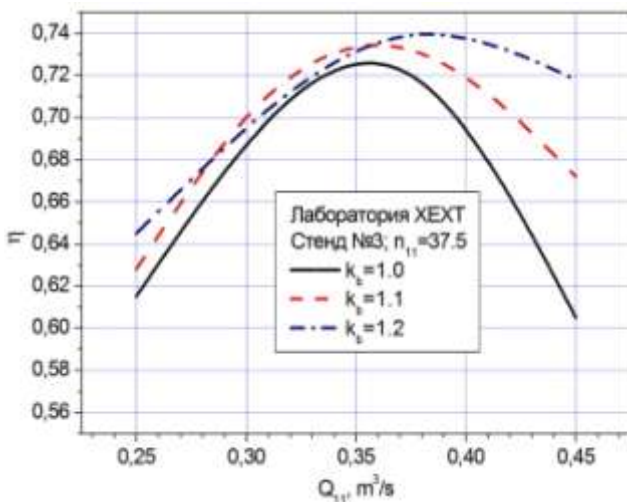


а.



в.

Фиг.7. Работни характеристики



б.

За да се изясни влиянието на този параметър при различните режими на работа са пресметнати и построени работни характеристики от вида $\eta = f(Q_{11})$ за 3 стойности на приведената еднометрова честота на въртене n_{11} : 45, 37.5 (оптимална) и 30 min^{-1} . Те са представени на фиг.7. Анализът на данните показва, че разликите в стойностите на к.п.д. са най-големи в зоната на максималните стойности на дебита и нарастват с увеличаването на стойностите на n_{11} (респ. с намаляване стойностите на напора). Установената закономерност е много важна от гледна точка на специфичните особености на експлоатация на водните турбини от този тип във ВЕЦ с малка мощност.

Може да се предполага, че при работни колела с междинни дискове влиянието на коефициента k_b ще бъде по-слабо предвид структурата на течението във вътрешността му и особеностите на обемните загуби в този тип турбини. Това е една от причините някои изследователи да се ограничават в препоръките си за увеличаване на широчината на работното колело с фиксирана стойност. За изясняване на този въпрос е планирано провеждането на опитни изследвания със секционни работни колела на стенд №3 в лаборатория ХЕХТ.

Уместно е да се отбележи, че с намаляването на стойността на коефициента k_b естествено нарастват технологичните изисквания по отношение центровката на работното колело спрямо дюзата.

Заклучение

Анализът на резултатите от направените опитни изследвания позволява да бъдат направени следните по-важни изводи:

1. Отношението на широчините на работното колело и дюзата при двукратните турбини оказва влияние върху енергийните им характеристики.

2. Резултатите от изследванията показват, че влиянието на коефициента k_b нараства в режимите с увеличаването на т.нар. активен ъгъл (по-високи стойности на дебита, респ. по-големи мощности) и при по-ниски стойности на напора (респ. по-високи стойности на n_{II}). По принцип увеличаването на широчината на работното колело без междинни дискове спрямо широчината на дюзата до 20% води до подобряване на енергийните характеристики на турбината.

3. В оптималния режим на работа разликите в стойностите на к.п.д. са в границите на грешката от измерванията, докато в режимите на работа с максимална мощност разликите достигат до 12%. Това следва да се има предвид при проектирането и експлоатацията на турбини от този тип.

4. Увеличаването на широчината на работното колело спрямо широчината на дюзата не води до изместване на оптималния режим на работа на турбината.

Литература

- Обретенов В. Повишаване ефективността на работния процес на активни водни турбини. Екопрогрес, С., 2012.
- Breslin, W. Small Michell (Banki) Turbine: A Construction Manual. VITA. 1980.
- Mockmore, C. A. and Merryfield, F.: "The Banki water turbine", Engineering Experiment Station Bulletin Series, No. 25, February, 1949.
- Nasir B.A. Design of High Efficiency Cross-Flow Turbine for Hydro-Power Plant. International Journal of Engineering and Advanced Technology, Volume-2, Issue-3, February 2013.
- Pérez, E., L. Carrocci, P. Filho, C. Luna. Metodología de diseño hidráulico y mecánico de una turbina Michell-Banki. 8° Congreso Iberoamericano de ingeniería mecánica. Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007.
- Scheurer, H., R. Metzler, B. Yoder. Small Water Turbine: Instruction Manual for the Construction of a Crossflow Turbine. German Appropriate Technology Exchange. Eschborn, 1980.
- Treinen, S. Conception, dimensionnement et fabrication d'une turbine Banki de type JLA mécano-soudée. 2005.
- Sammartano, V., C. Aricò, A. Carravetta, O. Fecarotta, T. Tucciarelli. Banki-Michell Optimal Design by Computational Fluid Dynamics Testing and Hydrodynamic Analysis *Energies* 2013, 6, 2362-2385. ISSN 1996-1073. www.hydrolab.tu-sofia.bg

INVESTIGATION OF MODEL RUNNERS FOR CROSS-FLOW WATER TURBINES

V. Obretenov, Ts. Tsalov, K. Angelov

Summary

The influence of the width of the runner and the nozzle on the energy performance of the model cross-flow water turbine is investigated. Presented are universal characteristics of the model turbine tested in HEHT laboratory of the Technical University - Sofia. Analyze the results of research and based on this, recommendations are made concerning the design and operation of this type of turbine.

Keywords: Cross-flow turbine, runner, nozzle, universal characteristic, efficiency.