

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/331563121>

# HKT-17

Conference Paper · September 2017

---

CITATIONS  
0

---

READS  
15

2 authors:



**Valentin Obretenov**  
Technical University of Sofia  
34 PUBLICATIONS 8 CITATIONS

SEE PROFILE



**Rossen Iliev**  
Technical University of Sofia  
9 PUBLICATIONS 2 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Performance Investigation and Optimization of a VAWT [View project](#)



**DAYS OF SCIENCE, TU - SOFIA**

**Faculty of Power Engineering and Power Machines**

**XXII SCIENTIFIC CONFERENCE  
WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION  
FPEPM 2017**

17<sup>th</sup> – 20<sup>th</sup> of September 2017, Sozopol

**PROCEEDINGS**

**Volume II**

**FLUID MECHANICS, FLUID MACHINES, HYDRAULICS AND PNEUMATICS  
CLOTHING AND TEXTILES: DESIGN AND TECHNOLOGIES**

*energy*                      *ecology*                      *self-confidence*  
*comfort*

Holiday House of the Technical University of Sofia  
Sozopol

## ДОКЛАДИ

### секция „Хидроаеродинамика, хидро- и пневмотехника“

Konstantin Lebedev Research works of department of Hydraulic machines Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University in volumetric hydraulic power drives .....	9
Камен Грозданов, Светлин Антонов, Ангел Терзиев, Детелин Спасов, Станимир Карапетков, Иван Антонов Експериментално изследване развитието на пожар при автомобили. Методика на изследване и измервателна апаратура .....	16
Камен Грозданов, Светлин Антонов, Ангел Терзиев, Детелин Спасов, Станимир Карапетков, Иван Антонов Експериментално изследване развитието на пожар при автомобили. Резултати и анализи .....	22
Ясен Цветанов, Ангел Терзиев Охарактеризиране на крилен профил за аеродинамична компенсация на пътни превозни средства.....	29
Георги Пичуров, Елена Сребрич, Ричард Винсент, Стивън Рудник Числено изследване на ултравиолетово обеззаразяване на въздуха с модел за двуфазно течение .....	37
Мартин Иванов, Сергей Мижорски Моделиране на въздушно течение през прототипиран уред за измерване на количеството на фини прахови частици в атмосферния въздух .....	44
Иван Денев Числено моделиране на взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор при нулев ексцентрицитет между двете секции.....	52
Ivan Dukov, Diana Taneva Application of CFD for energy efficient design of batch (discrete) dilute phase pneumatic conveying systems .....	58
Антон Сотиров, Тодор Чакъров Центробежни вентилатори със свободно изтичане .....	62
Валентин Обретенов, Росен Илиев Синтез на работно колело на хидрокинетична турбина с вертикална ос.....	69
Александър Станилов Определяне на коефициенти за избор на центробежна помпа, работеща в турбинен режим .....	76



## Синтез на работно колело на хидрокинетична турбина с вертикална ос

Валентин Обретенов, Росен Илиев

*В работата са представени резултати от изследвания, насочени към създаването на ефективно работно колело на хидрокинетична турбина тип Дариус посредством последователното прилагане на задачите за синтез на геометрията на лопатъчната система и анализ течението през нея. На основата на резултатите от планиран числен експеримент са определени оптималните стойности на някои важни параметри на лопатъчната система. Представени са резултати от числено изследване на обтичането на работното колело от водното течение.*

**Ключови думи:** хидрокинетична турбина, работно колело, лопатъчна система, профил на лопатка

## Synthesis of Runner of Vertical Hydrokinetic Turbine

Valentin Obretenov, Rossen Iliev

*The paper presents the results of research aimed at creating an effective runner of a Darrieus hydrokinetic turbine through the consecutive implementation of the tasks of synthesis of the geometry of the blade system and analysis of the flow through it. On the basis of the results of a planned numerical experiment the optimal values of some important parameters of the blade system were determined. The results of a numerical study of the flow of the runner from the water flow are presented.*

**Keywords:** hydrokinetic turbine, runner, blade system, blade profile

### Въведение

Един от пътищата за решаване на енергийните проблеми на планетата е разработването на ефективни системи за усвояване енергията на свободните водни течения (в реките, моретата и океаните) чрез т.нар. хидрокинетични турбини. Уместно е да се отбележи, че делът на тази хидроенергийна технология в общия енергиен баланс все още е твърде малък. Основните причини за това са високите стойности на специфичните капиталовложения както и сравнително ниската им ефективност (в сравнение с конвенционалната хидроенергетика).

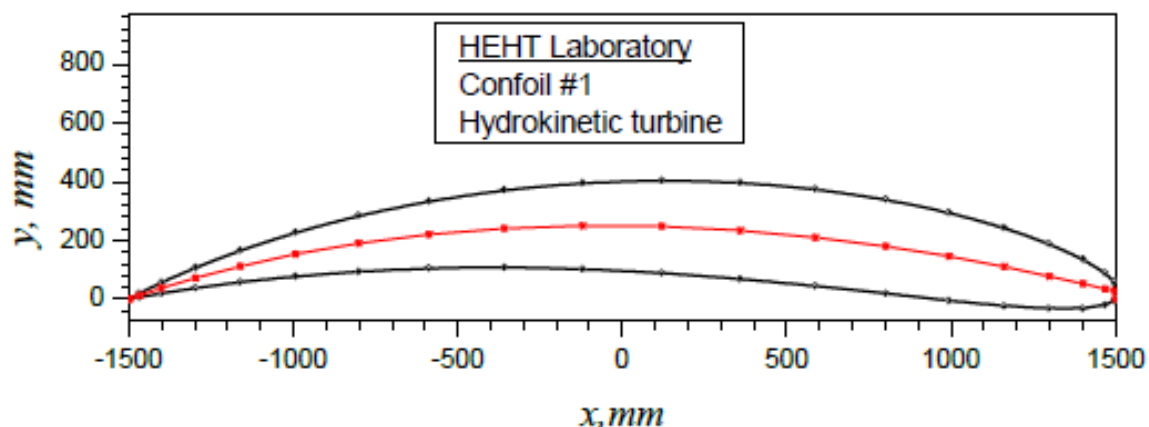
В Лабораторията по хидроенергетика и хидравлични турбомашини (лаборатория ХЕХТ) [7] на ТУ – София от 2010 г. се провеждат изследвания, насочени към разработването на ефективни лопатъчни системи за този вид турбини, а през 2011 г. беше пуснат в експлоатация стенд за изпитване на хидрокинетични турбини (стенд №8) [7,8].

В тази работа са представени резултати от изследвания, насочени към създаването на ефективно работно колело на хидрокинетична турбина посредством последователното прилагане на задачите за синтез на геометрията на лопатъчната система и анализ течението през нея. Изследванията са част от научната програма по проекта ДУНК-01/3.

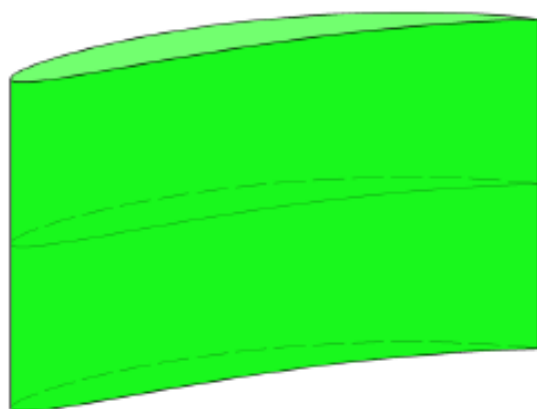
### Синтез на профил на лопатките на хидрокинетичната турбина

При синтеза на работните лопатки на хидрокинетични турбини от типа Дариус (Darrieus) обикновено се използват каталожни профили (NACA, NASA, Goettingen и др. [5, 6, 9]). Тук синтезът на профила на лопатките е направен с помощта на програмата VABld, разработена от доц. Т. Чакъров за пресмятане на работни колела за вятърни турбини тип

Дариус [2]. Уместно е да се направи уточнението, че става въпрос за тестова задача (макар и за конкретен обект), а оразмеряването е направено за лопатка, която е разположена фронтално на водното течение, с постоянна кривина по размаха и с хорда  $l=3m$ . Профилът на лопатката е представен на Фиг. 1, а на Фиг. 2 – 3D модел на лопатката.



Фиг. 1 Профил на лопатката на хидрокинетичната турбина



Фиг. 2 3-D модел на лопатка на хидрокинетичната турбина

*Пресмятане на характеристиките на крилото*

Изследва се обтичането на изолирано крило с постоянен по височината му профил, чиято хорда е успоредна на дъното на канала. Постановката на задачата може да се формулира по следния начин:

- Крилото е разположено в канал, чиято ширина и дълбочина са съобразени със същественото условие да не внася смущения в течението (осигурено е разстояние, равно на дължината хордата до стените и до дъното на канала);
- Численото изследване е направено за различни стойности на ъгъла на атака на течението ( $\alpha$ ), дължината на хордата ( $l$ ) и

височината (размаха) на крилото ( $h$ ) с цел определяне на оптималните им стойности;

- Изследва се разпределението на скоростите и налягането по повърхността на крилото и на тази база се определят стойностите на подемната и съпротивителната сили (респ. подемния и съпротивителния коефициенти).

Изследването е направено с помощта на програмната система ANSYS (решава се т.нар. права хидродинамична задача).

#### 1. Планиран експеримент

Както бе изяснено по-горе, задачата на изследването е да бъдат определени оптималните стойности на дължината на хордата на профила ( $l=X1$ ), ъгъла на атака ( $\alpha=X2$ ) и височината на крилото ( $h=X3$ ). За тази цел е организиран планиран експеримент [1] (3 фактора, чиито стойности варират на 3 нива). Стойностите на основните нива на управляващите параметри са съответно 11 m; 30 deg; 5 m. Интервалите на вариране са 9 m; 20 deg; 3 m. Стойностите на дължината на хордата и височината на крилото са съобразени с данните за реален обект (хидровъзел „Тракия“), за който са известни параметрите (от прединвестиционното проучване).



За определянето на оптималните стойности на трите величини се използва симетричен план [1] с брой на точките на носителя  $N=14$ . Оптимизационната задача се решава чрез комплексния метод на М.Вох [4], който е подходящ поради нелинейността на модела и наличието на ограничения във факторното пространство. Тоталният екстремум на целевата функция се намира след многократно изчисляване при различни начални точки и сравняване на получените стойности. В конкретния случай целева функция е качеството на крилото ( $K=C_y/C_x$ ;  $C_x$  – съпротивителен коефициенти;  $C_y$  - подемен коефициент).

Използва се регресионен модел от вида [1]:

$$Y = b_0 + \sum_{k=1}^3 b_k x_k + \sum_{l=k+1}^3 b_{kl} x_k x_l + \sum_{k=1}^3 b_{kk} x_k^2 \quad (1)$$

Кодираните стойности на трите управляващи параметъра (матрицата на плана на експеримента), както и резултатите от изчисленията - стойностите на подемния и съпротивителния коефициенти, подемната ( $F_y$ ) и съпротивителната ( $F_x$ ) сили, качеството на крилото - са представени в Табл. 1.

Таблица 1

Матрица на плана и резултати от изчисленията

№	X1	X2	X3	$F_y$	$F_x$	$C_y$	$C_x$	K
	-	-	-	N	N	-	-	-
1.	1	1	1	8000	12114	1,113	1,686	0,660
2.	-1	1	1	385	923	0,536	1,284	0,417
3.	1	-1	1	10390	1517	1,446	0,211	6,845
4.	-1	-1	1	981	63	1,365	0,087	15,611
5.	1	1	-1	3223	2939	1,794	1,636	1,097
6.	-1	1	-1	174	193	0,966	1,074	0,899
7.	1	-1	-1	1250	500	0,696	0,278	2,503
8.	-1	-1	-1	245	18	1,365	0,098	13,948
9.	1	0	0	7745	3017	1,724	0,672	2,567
10.	-1	0	0	400	228	0,890	0,508	1,754
11.	0	1	0	1860	4100	0,753	1,660	0,454
12.	0	-1	0	3781	285	1,530	0,115	13,267
13.	0	0	1	4367	2276	1,105	0,576	1,919
14.	0	0	-1	1684	800	1,704	0,810	2,105

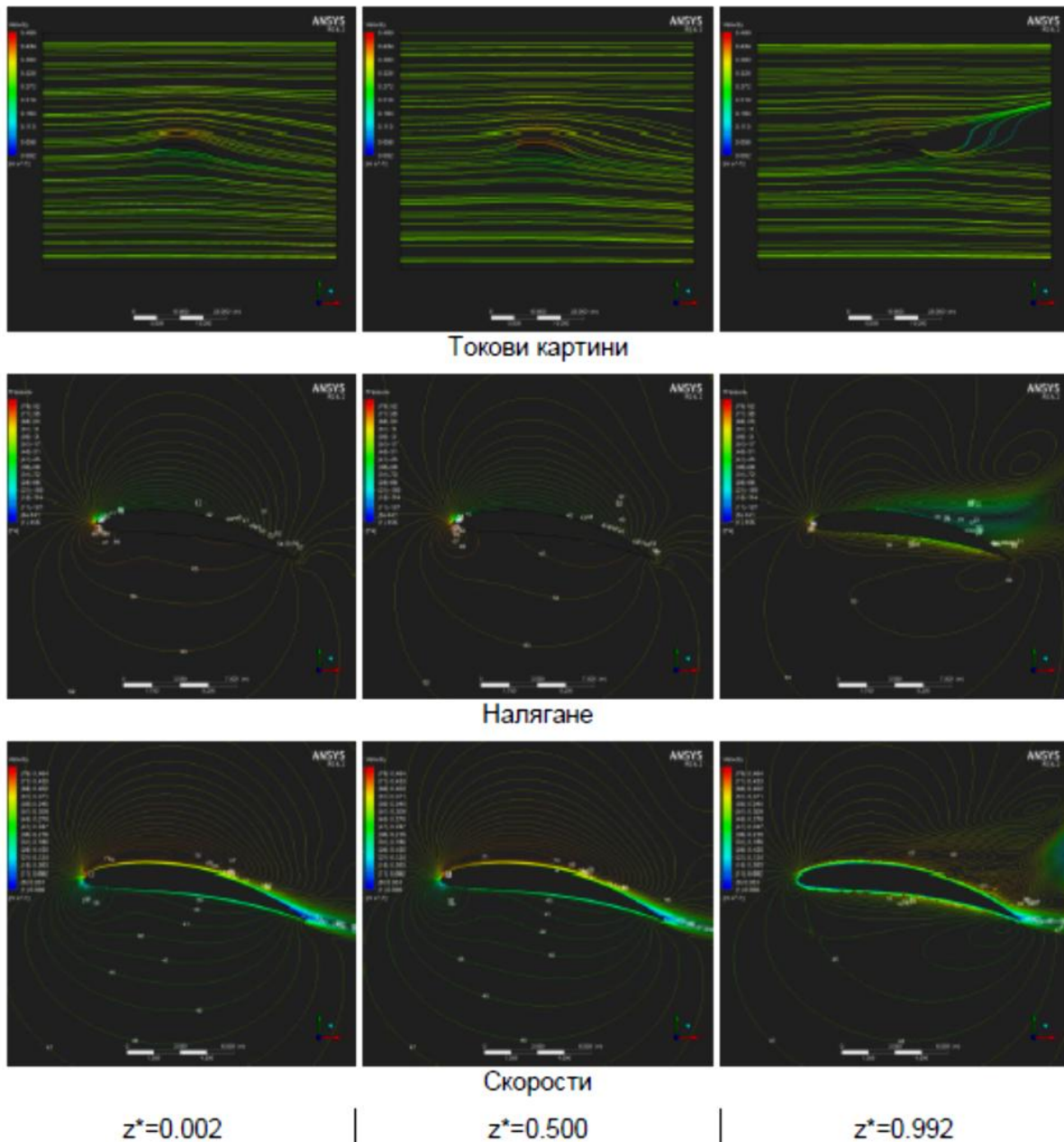
По-долу са приложени разпечатки на основните резултати от проведения планиран експеримент (за обработването на резултатите от числения експеримент е използван е специално разработен за целта софтуер): стойностите на регресионните коефициенти и оптималните стойности на управляващите параметри. Уместно е да се отбележи, че стойностите на регресионните коефициенти са определени за реципрочната стойност на целевата функция (програмата определя нейната минимална стойност в изследвания диапазон).

```

*      REGRESSION COEFFICIENTS:      *      *      OPTIMUM VALUES OF PARAMETERS:      *
BO= 0.644807                          # *      NORMALIZED      *      REAL      *
B1=-0.085441  B2= 0.738307  B3= 0.167428  1  Xортк= -0.7589      Xорт= 4.1697
B11=-0.16496  B22=0.494197  B33=-0.146727  2  Xортк= -1.0000      Xорт= 10.0000
B12=-0.18669  B13=-0.115995  B23= 0.268795  3  Xортк= -1.0000      Xорт= 2.0000
    
```

## 2. Резултати от числени изследвания

На Фиг. 3 са представени в графичен вид резултати, получени след направеното числено изследване на оптималния вариант на крилото: токови картини и разпределение на скорости и налягане при обтичането му от течението в три равнини по височината му ( $z^*=z/h=0.999$ ; 0.5 и 0.001).

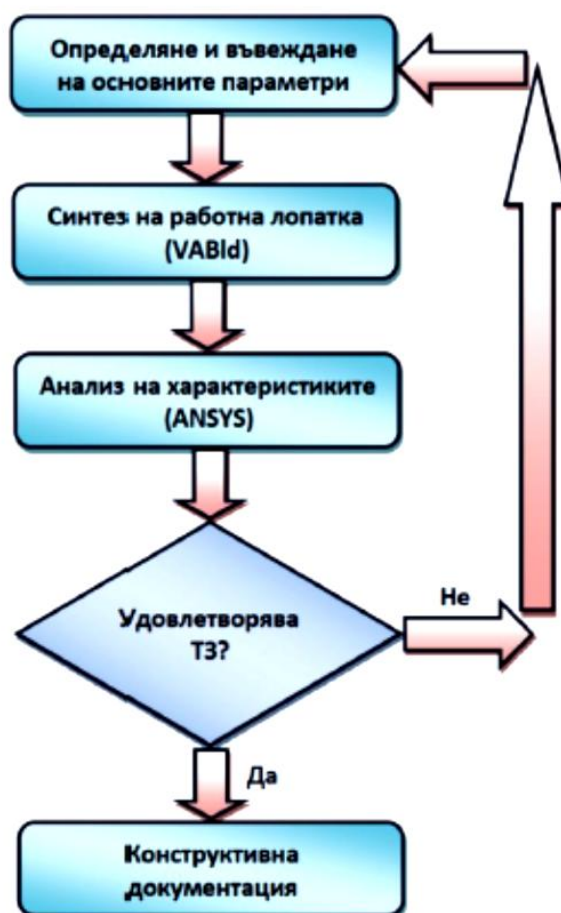


Фиг. 3 Токови картини, разпределение на налягане и скорости (оптимален вариант)

Описаната по-горе изчислителна процедура, базирана на разработен метод и програма за решаване на обратната хидродинамична задача и на програмната система ANSYS следват съвременния подход за проектиране на хидравлични турбомашини [3]: последователно прилагане на двете взаимосвързани задачи: синтез на геометрията на лопатъчната система и анализ на течението през нея. Тази методика, чиято блок-схема е



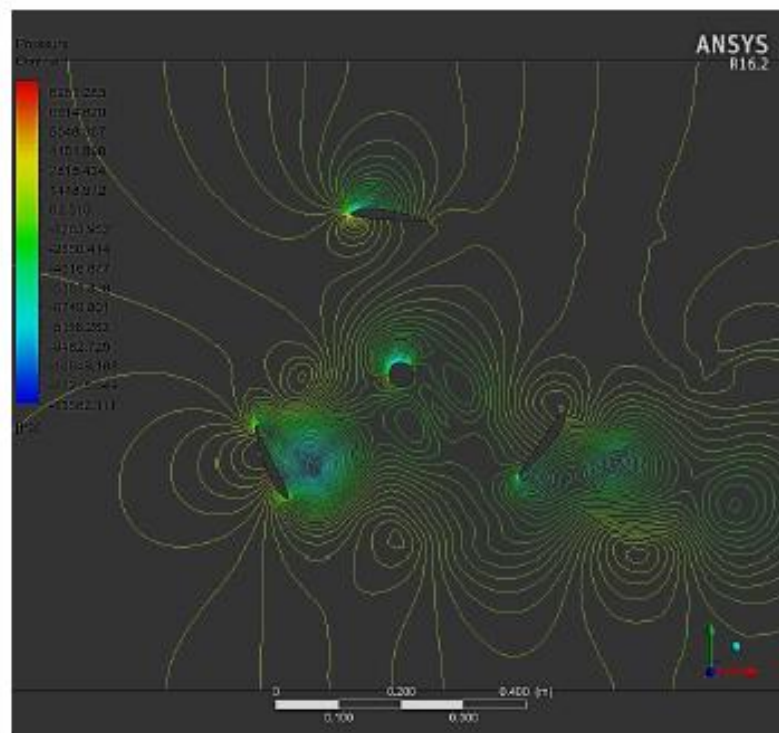
показана на Фиг. 4, дава възможност за оптимално проектиране на работните лопатки на хидрокинетични турбини от типа Дариус. За да се валидира тази методика е необходимо провеждането на лабораторни моделни изследвания (физическо моделиране). Такива изследвания са планирани да бъдат проведени на стенд №8 в лаборатория XEXT [7].



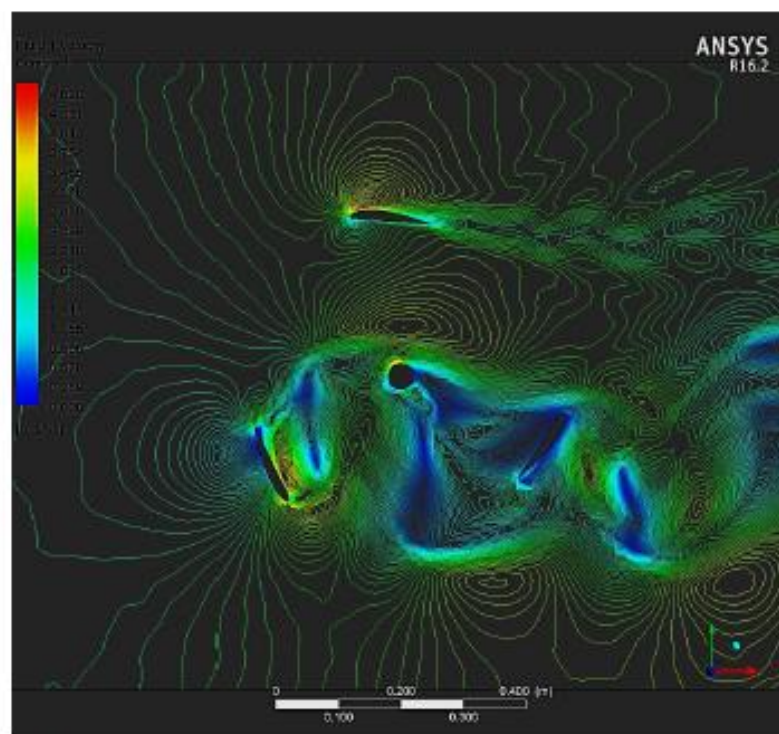
Фиг. 4 Блок-схема на използваната методика

Уместно е да се отбележи, че резултатите от прилагането на описаната по-горе методика всъщност са пилотни (модулите и схемата подлежат на развитие), но следва да се има предвид, че аналогични методики са използвани многократно при създаването на лопатъчни системи за конвенционални водни турбини [3], доказали своята ефективност в реални (експлоатационни) условия. Именно тези резултати дават основание да бъде направена оптимистична прогноза. Разработва се и модул за пресмятане на външните характеристики на хидрокинетичната турбина, т.е. изследва се работата на лопатъчната система на работното колело. Някои предварителни резултати са представени на Фиг. 5 (разпределението на налягането в областта на въртящо се работно колело на моделната хидрокинетична турбина тип Дариус с 3 работни лопатки) и на Фиг. 6 (разпределение на скоростите).





Фиг. 5 Разпределение на налягането в зоната на работното колело



Фиг. 6 Разпределение на скоростите в зоната на работното колело

### Заклучение

Основните резултати от направеното изследване се състоят в следното:

1. Създадена е методика за пресмятане на работни колела на хидрокинетични турбини, базирана на разработен в ТУ – София софтуер и на програмната система ANSYS чрез последователно прилагане на двете взаимосвързани задачи: синтез на геометрията на лопатъчната система и анализ на течението през нея.
2. Резултатите от направените числени изследвания показват, че с помощта на приложената методика могат да бъдат определени оптималните стойности на основните параметри на лопатъчната система.
3. Методиката може да бъде използвана и за пресмятане на работни колела на вятърни турбини от същия тип.

### Литература

1. Вучков, И., С. Стоянов. Математическо моделиране и оптимизация на технологични обекти. С., Техника, 1980.
2. Обретенов, В., Ц. Цалов, Т. Чакъров. Вятърна турбина с вертикална ос. Научна конференция ЕМФ`2012, сборник доклади, т. II, стр. 28-34, Созопол, 2012.
3. Обретенов, В. Повишаване ефективността на работния процес на активни водни турбини. Екопрогрес, С., 2012.
4. Стоянов, Ст. Методи и алгоритми за оптимизация. Техника, С., 1990.
5. Arshiyd, H. Analysis of hydrokinetic turbines in open channel flows. University of Washington, 2013.
6. Bates, P., J. Ketchum, R. Kimball, M. Peterson. Experimental Characterization of High Solidity Cross-Flow and Axial Flow Tidal Turbines. The 29th American towing tank conference, Annapolis, Maryland, August 2010.
7. Obretenov, V.S., Ts. Tsalov. The new hydraulic laboratory at the Technical University of Sofia. Сборник научных трудов IX международной научно-технической конференции „Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития“, стр. 79-87, Санкт-Петербург, 2016. ISBN 978-5-7422-5346-4.
8. Obretenov, V., Ts. Tsalov, St. Mateev. Stand for Testing of Hydrokinetic Turbines. Proceedings of the Conference COFRET'12, pp.266-269, Sozopol 2012, ISBN 978-619-460-008-3.
9. Phommachahn, S., Sutirkno P., Obi S. Duct water current turbine and extremely low head helical turbine. The 10<sup>th</sup> Asian International Conference on fluid machinery, CP1225, 2010.

проф. д-р Валентин Обретенов, ТУ–София, катедра "Хидроаеродинамика и хидравлични машини", Лаборатория "Хидроенергетика и хидравлични турбомашини", тел.: 02 965 2333, e-mail: [v\\_obretenov@tu-sofia.bg](mailto:v_obretenov@tu-sofia.bg)

маг. инж. Росен Илиев, докторант, ТУ–София, катедра "Хидроаеродинамика и хидравлични машини", Лаборатория "Хидроенергетика и хидравлични турбомашини", тел.: 02 965 2349, e-mail: [sladow@abv.bg](mailto:sladow@abv.bg)

[www.hydrolab.tu-sofia.bg](http://www.hydrolab.tu-sofia.bg)