SAT-9.3-1-HP-01

# Energy investigation of Savonious windrotor with CFD program FLOW SIMULATION

Krasimir Tuzharov

# Енергетично изследване на ветроколело на Савониус със CFD програмата FLOSIMULATION

Красимир Тужаров

**Abstract:** In the work were obtained by numerical modeling CFD aerodynamic characteristics of the most common structural modifications of the rotor of Savonius - with double wrap and compared with the aerodynamic characteristics obtained by analytical model [2, 3].

Key words: wind power, savonious rotor.

# въведение

Изследователската работа на вятърните турбини с вертикална ос на въртене (ВТВО) води началото си от 70<sup>те</sup> години на миналия век. В последно време се наблюдава завишен интерес към новия изследователски инструмент - изчислителна механика на флуидите (CFD).



Фиг. 1. Ротор на Савониус 1-долен диск; 2-лопатка; 3-лопатка; 4-горен диск.



Фиг. 2. Ротационно тяло

Численото моделиране е два типа. Първият се изразява в математическо моделиране (аналитични модели), където проблемът се описва чрез математически зависимости, с чиято помощ се определя полето на скоростта и натоварванията лопатките. Тези зависимости са изразени върхи ОТ фундаменталните аеродинамични теории. Вторият тип числено моделиране е изчислителната механика на флуидите (Computational Fluid Dynamics - CFD). При този подход цялата поточна област, включително и в близост до стените на лопатките, се изчислява посредством няколко различни форми на частните диференциални уравнения на Навие-Стокс, включващи в себе си затварящи турбулентни уравнения, познати като

турбулентни модели, с които диференциалната система Навие-Стокс се свежда до състояние, в което може да бъде решена. Флуидната област (изчислителната област) се разделя на множество обеми (клетки), за всеки от които се изчисляват параметрите на течението. При този метод не се правят прекалено много опростявания спрямо силите, действащи на лопатката. Възниква въпроса, кой метод е с предимство относно точността на решението.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Потокът на работния флуид през ротора на Савониус (фиг. 1) привежда в движение работното колело, при което скоростта му се стабилизира при достигане на равенство между въртящия момент създаван от ветротурбината и съпротивителния момент. *Цел на доклада* е получаването на честотната характерристика на ротора на Савониус, която е зависимостта на въртящия момент на вала от честотата на въртене на работното колело, при постоянна скорост на въздуха (v = 20m/s). За постигане на целта са решени следните задачи: създадени са физически модел на ротора на Савониус с програма Solid Works 2015, и числен модел със CFD програма FloSimulation.

Таблица 1

Analysis type	External
Unit system	SI
Fluids	Air
Flow type	Laminar and turbulent
Physical features	
Time dependent, s	Total analysis time-0,078515,7
	Output time step-0,00020180,0436
Rotation type	- Local region, Sliding
Wall Conditions	Default smooth walls
Initial and Ambient Conditions	Thermodynamic parameters:
	<i>Temperature=293°K; Pressure: 101 325 Pa;</i>
	<i>Turbulence parameters: turbulence intencity 2%,</i>
	<i>turbulence length 0,1 m; turbulence energy</i>
	$\kappa$ =1J/kg and decipation $\varepsilon$ = 1 kW/kg.
Result and Geometry Resolution	Ниво на Result resolution равно на 4; Minimum
	gap size = 0.1 m, другите опции са по
	подразбиране.

Предпоставки за изследването са, че работният флуид е въздух, течението е турбулентно с ламинарен подслой при стените на лопатките, стените са топлоизолационни (течението е адиабатно). Въпреки че в геометричния модел няма уплътнителни кухини, които трябва да се изключат от моделното течение опциите **Exclude cavities without flow conditions** и **Exclude internal spaces** се активират. Общите настройки на проекта са показани в таблица 1.

От таблицата се вижда, че началните условия са оставени по подразбиране като опцията **Pressure potential** не е активирана.

Във Flow Simulation турбулентните флуидни течения се моделират с уравненията на Навие-Стокс, които описват законите за съхранение на материята, импулса и енергията. Параметрите на потока се осредняват по времето съгласно Рейнолдс [4, 5].

За симулиране на въртенето е създадено спомагателно тяло, което обхваща турбината със запас (фиг. 2). Диаметърът на тялото превишава вътрешния диаметър на проходното сечение. За въртящата се област се задават текущи стойности на ъгловата скорост  $\omega = 0,4..80, s^{-1}$  и се присвоява атрибута **Disable**, който превръща тялото в прозрачно за течащата среда. Прието е изчислителната област (**Computational Domain**) да е равнинна (2D симулация), като пресича средното сечение на ротора.





Фиг. 4. Контури около ротора и лопаткаата

За настройването на началната мрежа се използва режима **Automatic settings**. Фрагмент на резултантната мрежа в хоризонтално сечение е показан на фиг. 3. В нея се получават 103 036 течностни клетки и 15 200 частични. Относно получения резултат мрежата е достатъчно рационална.

Въртящият момент *M<sub>z</sub>* и силата от челното налягане *F<sub>z</sub>* се моделират с помощта на вградени в програмата универсални функции:

(9) 
$$M_z = \int_{r_0}^{R} dM_z(r), \ F_z = \int_{r_0}^{R} dF_z(r),$$

където  $r_0$ , R са радиусите на входящия и изходящия ръбове на лопатките на работното колело; r - текущият радиус по дължината на лопатките на работното колело;  $dM_z$  и  $dF_z$  - текущите стойности на елементарния въртящ момент създаван от разпределението на налягането под и над лопатките и на елементарната осова сила създавана от разликата между наляганията пред и след работното колело.

Като цяло тази задача в хода на решението проявява стабилност и бърза сходимост особено за силовите показатели - въртящия момент и осовата сила.

С уравненията на Рейнолдс е определено разпределението на скоростите и налягането в напречно сечение при ъгъл на завъртане на ротора *θ*=90°. Резултатите са показани на фиг. 5 за скоростното поле, а на фиг. 6 за полето на статичното налягане.



Фиг. 5. Напречно сечение на скоростното поле.



Фиг. 6. Напречно сечение на полето на

статичното налягане.



50.680 45.092 39,505 33,917 28.329



Фиг. 7. Токови линии и изотахи.

Фиг. 6. Разпределение на налягането по затворени контури около ротора (червено) и лопатката (синьо).

Токовите линии на течението са дадени на фиг. 7. Пред ротора те са успоредни, а след него се отклоняват нагоре или надолу направлявани от лопатките, в зависимост от моментната стойност на ъгъла **θ**. Скоростта намалява до 10 m/s, докато налягането се увеличава до 102 000 Ра.

# РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Разпределението на налягането по затворени контури (фиг. 4) около работното колело по окръжност с диаметър 1010 mm и около лопатките е показано на фиг. 6. Резултатите за разпределението на налягането около лопатките на работното колело се използват за изчисление на стойностите на въртящ момент М, при различни текущи стойности на ъгъла на завъртане **д** на ротора (фиг. 8). От фиг. 8 се вижда, че точността на решението се стабилзира след едно пълно завъртане на ротора. Резултатите от фигурата се използват за определяне на средната стойност на въртящия момент

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{N} M_z}{N}.$$



Фиг. 8. Текущи стойности на въртящия момент, съответстващи на определен ъгъл на завъртане на ротора или изчислителна итерация



Фиг. 10. Честотни характеристики получени с числена симулация на течението.



Фиг. 9. Аеродинамични характеристики получени с аналитичен метод.



Фиг. 11. Аеродинамични характеристики  $Cm = f(\lambda)$  и  $Cp = f(\lambda)$  получени с числена симулация.

Резултатът от изчисленията за различни стойности на скоростта на въртене n, във вид на диаграми средна стойност на въртящия момент M и мощност на вала  $P_2$  са показани на фиг. 10. Графиката на момента може да се приеме за права линия, а за мощността за парабола. При сгъстяване на мрежата съответствията на теоретичните диаграми с експериментално получените стават по-добри. След достигане на скоростта на въртене до максимална стойност  $n_{max}$ =570 min<sup>-1</sup>, въртящият момент става нула, а при честота на въртене n=0 въртящия момент нара ства до максималната стойност  $M_{max}$ =700 Nm. При номиналната стойност на честотата на въртене  $n_{nom}$ =300 min<sup>-1</sup>, се получава максималната стойност на мощността на въртене  $n_{max}$ =70 W. След обезразмеряване на честотните характеристики са получени аеродинамичните характеристки, които са зависимости  $\lambda$  (фиг. 11).

# ИЗВОДИ

Примера демонстрира способността на Flow Simulation за решение на задачи с пасивни въртящи се обекти с вертикална ос чрез вградения метод създаване на мрежа Sliding Mesh. От честотните характеристики за въртящия момент и мощността

се вижда, че те съответстват качествено и количествено на експериментално получени характеристики представени в литературата. Аеродинамичните характеристики от фиг. 11 са сравнени с аналитично получени аеродинамични характеристики [2, 3] дадени на фиг.9. Прието е, че численото решение посредством FlowSimulation е по-точното. Двете решения при еднаквите стойности на бързоходността се различават с (12..21)%. По-голямата разлика е при по-ниските стойности на бързоходността. Съвпдението на характеристиките по форма и стойности на безразмерните показатели се счита като верификация на аналитичния теоретичен модел от [2].

# Литература

- [1]. Тужаров, Кр., Ив. Николаев. Измерване на малки въртящи моменти при опитно изпитване на ветроколела. Научни трудове на Русенския университет, том 44, серия 1, 2005, стр. 238..241.
- [2]. Тужаров, Кр., Г. Попов, Ив. Николаев, Кл. Климентов, М. Михайлов. Теоретична зависимост между безразмерния въртящ момент и бързоходността на ветроколело на Савониус. Научни трудове на Русенския университет, том 46, серия 1, 2007, стр. 101..107.
- [3]. Тужаров, Кр., Г. Попов, Ив. Николаев, Кл. Климентов, М. Михайлов. Резултати от теоретичното пресмятане на характеристиката на ветроколело на Савониус. Научни трудове на Русенския университет, том 46, серия 1, 2007, стр. 108..115.
- [4]. Тужаров, Кр., Г. Попов, Ив. Желева, Кл. Климентов, Ив. Николаев, Б. Костов, А. Ахмедов. Теоретично изследване на тахометричен дебитомер със CFD продукт Flow Simulation. Научни трудове на Русенския университет, том 46, серия 1, 2015, стр. 108..115.
- [5]. Терзиев А. Specifics in numerical modeling of flow past a square-cylinder. Научни трудове на Русенския университет, том 53, серия 1.2, 2014, стр. 143..148.

# За контакти:

Доц. д-р Красимир Тужаров, Катедра "Топлотехника, хидравлика и екология", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 580, e-mail: <u>tujarov@uni-ruse.bg</u>

# Докладът е рецензиран.