

ИНСТРУКЦИИ ЗА СТАТИЧНО БАЛАНСИРАНЕ НА ПРОПЕЛЕР НА МАЛЪК ВЕТРОГЕНЕРАТОР

Мартин Златков
dj_marti79@mail.bg

ВТУ „ТодорКаблешков”
България, София, 1574, ул. "Гео Милев" 158
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: статично, балансиране, баланс, дисбаланс, турбина, пропелер, лопата, витло, ветрогенератор, вятър, център на тежестта.

Резюме: В доклада са изброени инструкции под чието ръководство може да се осъществи лесно и прецизно балансиране на турбина на малък ветрогенератор в статично положение. Методът е прост, лесен, евтин и не изисква специално или скъпо струващо оборудване. Може да се използва за балансиране и на по-големи пропелери на ветрогенератори. При стриктно спазване на инструкциите резултатите са гарантирани.

Увод.

Тъй като малките ветрогенератори са значително по-високооборотни от големите, турбината им трябва да бъде много точно и прецизно балансирана във всички направления. Балансирането на турбината на ветрогенератора е важна стъпка при изграждането на ветрогенераторна система и е от изключително значение за нейната безпроблемна работа.

Общи сведения.

Не добре балансирана турбина може да доведе до вибрации и люлеене на ветрогенератора заедно с цялата кула. Последствията от което могат да доведат до повреда на крепежен елемент, умора на материала, ускорено износване, изпадане в резонансно люлеене и други. В следствие може да се стигне и до по-сериозни аварии като – отчупване на върха на витлото, счупване на главния вал, предизвикване на неконтролируемо разтърсване на съоръжението, разрушаване на съоръжението.

Балансирането на турбината всъщност представлява уеднаквяване на теглото на всички лопати или довеждане на центъра на тежестта до точката около която тя се върти.

Пресмятане на някои основни величини:

Турбина с диаметър 2,5m има обиколка:
(1). $\pi \cdot d = 3,14 \cdot 2,5 = 7,85, m$

Ако турбината работи приблизително с $TSR = 5$ [2], при вятър със скорост 16m/s , то линейната скорост на периферния ръб е :

(2). $5 \cdot 16 = 80, \text{ m/s}$

От резултатите на (1) и (2) ще получим оборотите на турбината:

(3). $80/7,85 = 10,2 \text{ об/сек}$

Оборотите в минута ще бъдат:

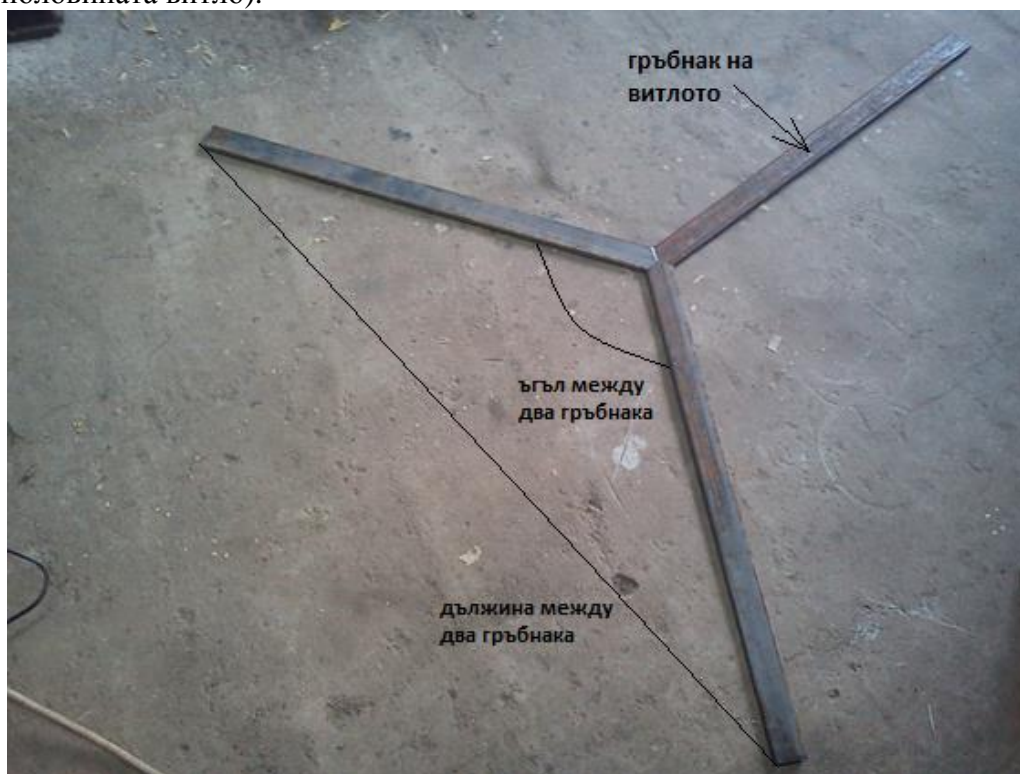
(4). $10,2 \cdot 60 = 612, \text{ об/мин.}$

,които не са никак малки за пропелер с диаметър $2,5\text{m}$.

Подробно разискване на методите за балансиране са предмет на друга научна област. Дадени са са няколко инструкции с които може да се постигне средно задоволителен резултат. Описаните по-долу инструкции се отнасят по-конкретно за турбина, чиито витла са сваляеми и са закрепени към гръбнаците с болтове.

Инструкции:

1. Още при разкрояването „гръбнаците“ [1] (фиг.1.) и заготовките за витлата да бъдат доведени до еднакви размери и маса. (Гръбнак – здрав материал например стомана, който започва от главината (корен на витлото) и по някога преминава през повече от половината витло).



Фиг.1. Разкрояване на заготовки за гръбнаци за фланец „тройка“.

2. След заваряване на гръбнаците в основата (корена), при изстиване на материала заварката тегли гръбнака в посока към шева. Това свойство може да се използва за регулиране на ъгъла между гръбнаците по време на изработката на фланеца.
3. Заварките трябва да бъдат с „дълбок провар“ тъй като усилията в основата са най-големи. Препоръчва се и допълнително укрепване.
4. При изработката (фиг.2.) или отливането на витлата, същите да бъдат с максимално близки размери и маса.

5. При закрепването на „гръбнаците” към фланеца, ъглите между тях да бъдат еднакви, също така и дължините (фиг.1.).
6. Витлата се номерират например с точки направени със свредло така, че след боядисването бележите да не могат да бъдат заличени.
7. Гръбнаците се номерират по същия способ а в последствие при сглобяване и разглобяване всеки номер витло заема същия позиционен номер на гръбнака.
8. При измерване на теглото на витлата (фиг.2) същите да се мерят в една и съща точка, която да бъде белязана като център на тежестта на витлото фиг.2.



Фиг.2. Теглене на витлото с точна везна.

9. Прави се измерване на теглото при основата на всяко витло в една и съща точка за всичките витла като другия свободен край се поставя на неподвижна опора. Резултатите се записват, а от най-тежките витла се отнема материал при основата. Операцията се повтаря няколко пъти докато теглата на витлата станат близки.
10. След това витлата се обръщат и се мерят при върха на всяко витло в една и съща точка за всичките витла като другия свободен край се поставя на неподвижната опора. Резултатите се записват, а от най-тежките витла се отнема материал при върха. Операцията се повтаря няколко пъти докато теглата на витлата станат още по-близки.
11. След като всички витлата получат първи пласт боя, по-леките получават втори, трети, четвърти и т.н. до уеднаквяване на показанията на везната. Всеки пласт боя придава ориентировъчно между 4 и 12 грама (за витло около 1 метър) в зависимост от гъстотата на боята.
12. Фланеца заедно със заварените вече гръбнаци се поставя на вала на генератора, с който ще работи (фиг.4.) и чрез завъртане на ръка се проверяват гръбнаците или витлата дали се движат в равнината на въртене. Ако е необходимо се прави корекция.
13. Фланеца „тройка” (фиг.3.) с монтирани към него „гръбнаци” се балансира преди и след поставяне на витлата.
14. Два от върховете се поставят на опори в едни и същи точки, а третия връх се тегли с точна везна в идентична точка. Резултатите се записват, а от най-тежките

витла/гръбнаци се отнема материал. Операцията се прави няколко пъти докато теглата на витлата/гръбнаците станат с още по-близки по стойности. Завъртат се всеки от върховете да мине през везната, като операцията се повтаря неколкократно до уеднаквяване на показанията на везната.



Фиг.3. Пропелер с три витла и прилежащите им крепежни елементи.

15. При монтиране на витлата към гръбнаците (фиг.3.) се измерват разстоянията от центъра на турбината (фиг.3.) до върха на витлото (фиг.4.), като се следи същите да бъдат еднакви. Първи болт (фиг.3.) се поставя този който е най-близо до корена на витлото (фиг.3.).
16. При монтиране на витлата преди да се фиксират с втори болт се мерят с ролетка разстоянията между върховете (фиг.4.) да бъдат еднакви.
17. Витла с дължина над 0,6m да се закрепват с не по-малко от 3 болта, не по-тънки от М6.
18. Витла с дължина от 1m до 1,4m да се закрепват с не по-малко от 4 болта, не по-тънки от М6.
19. Витла с дължина над 1,4m да се закрепват с не по-малко от 5 болта, не по-тънки от М8.
20. Готовата и сглобена турбина се връзва да виси хоризонтално на въже в централния отвор на фланеца с помощта на подходяща скоба, като възелът на въжето трябва да се намира 2% (от диаметъра на турбината) над плоскостта на въртене. Тежести под формата на болтче с гайка се поставят на повдигнатия връх като се цели хоризонтиране на турбината.
21. Установената необходима тежест се поставя в пробит през върха на витлото отвор
22. При готов и монтиран ветрогенератор да се проверят, чрез завъртане всичките витла дали минават на едно и също разстояние от мачтата. При необходимост да се направи корекция.



Фиг.4. пропелер с четири витла и прилежащите им крепежни елементи.

23. Точността на измерванията да бъде сведена до 1 грам и 1 милиметър!

24. Да се има в предвид, че люлеенето от дисбаланс се появява около определени обороти а не в целия диапазон.

Взетите до тук мерки би трябвало да са достатъчни! Ако не са, да се пристъпи към динамично балансиране. Може да се извърши при монтиран и работещ ветрогенератор. За целта е необходимо продължително наблюдение за установяване на люлеене. Допуска се преместване на тежестта на друго витло или подмяната и с по-тежка или по-лека.

Трябва да се отбележи, че люлеенето на ветрогенератора може да не се дължи на дисбаланс на турбината. Възможно е при дадена скорост на вятъра да има тласъци от неламинарен поток, които да съвпадат с резонансното трептене на кулата!

Изводи.

При съставяне, систематизиране и прочит на целия списък с инструкции се стигна до следните изводи:

1. Целия процес на изработка на турбината е доста дълъг и е съставен от много различни операции:

- Рязане;
- Фрезоване;
- Струговане;
- Заваряване;
- Шприцоване;
- Технологично време за изстиване;
- Пилене;

- Нанасяне на композитни материали;
 - Технологично време за изсъхване;
 - Междуперационно мерене;
 - Ръчна работа;
2. Процеса на изработка на турбината е трудно да бъде автоматизиран (може би само изработката на отделни детайли).
 3. При изработката на всяка ветро турбина е необходимо да се обърне индивидуално внимание на всеки детайл и на всяка турбина.
 4. Основните „Врагове“ на турбината са:
 - Дъжд;
 - Слънце;
 - Вятър;
 - Центробежни сили;
 - Дисбаланс.
 5. Турбината може да бъде изработена:
 - по доста различни начини;
 - от доста различни материали;
 - по доста различни технологии.
 Всичките начини си имат предимства и недостатъци.
 Всичките начини са трудни и времеемки.
 6. На пръв поглед една обикновена „перка“ е доста сложно, и трудно за изработка съоръжение.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. <https://forum.napravisam.bg/viewtopic.php?f=18&t=31787&sid=8a8c5c1f543f0efb71347985488f2b44>

[2]. <https://www.warlock.com.au/tools/bladecalc.htm>

INSTRUCTIONS FOR STATIC BALANCING OF PROPELLER ON A SMALL WIND TURBINE

Martin Zlatkov
dj_marti79@mail.bg

Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 1574, str. "Geo Milev" 158
BULGARIA

Key words: *static, balancing, balance, imbalance, turbine, propeller, blade, wind turbine, wind, revolutions, center of gravity.*

Abstract: *The report lists instructions under which easy and accurate turbine balancing of a small wind turbine can be made in a static position. The method is simple, easy, cheap and does not require special or expensive equipment. It can also be used to balance larger wind turbine propellers. In strict compliance with the instructions, the results are guaranteed.*