

MECHANISMS AND MACHINERY USED IN UTILIZATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Dolchinkov Radostin, Burgas Free University, rado@bfu.bg

Abstract: The paper reviews the mechanisms and machinery used in utilization of renewable energy sources. In the overview on wind turbines their applicability as alternative energy sources is shown. The mechanisms constitute the kinematic basis of machinery and mechanical appliances, and so they represent an integral part of them. The functionality of the entire machine or device as a whole substantially depends on the correctness of the operation of its mechanisms.

Keywords: knife, gears, screw mechanisms, reducer, multiplier.

МЕХАНИЗМИ И МАШИНИ ВЪВ ВЕИ

Доц. д-р Радостин Долчинков, Бургаски свободен университет, rado@bfu.bg

Резюме: В работата са разгледани механизмите и машините използвани във възобновяеми енергийни източници. С направеният обзор върху ветрогенераторите се показва тяхната приложимост като алтернативни източници на енергия. Механизмите съставят кинематичната основа на машините и механичните уреди и затова те се явяват неотменна тяхна съставна част. Работоспособността на цялата машина или уред като цяло в значителна степен зависи от правилността на работа на техните механизми.

Ключови думи: лостови, зъбни и винтови механизми, редуктор, мултипликатор.

Ветрените технологии използват енергията на въздушните маси над земната повърхност, които са резултат от движението, предизвикано от топлината на Слънцето и движението на Земята. Въздухът задвижва перките на енергийното съоръжение, монтирани на ротор в резултат на силата, която се създава от разликата в наляганията между високото налягане върху плоската повърхност на перките и ниското налягане на обратната им страна. Въртенето им води до директно производство на механична енергия, която може да се превърне в електрическа с помощта на електрогенератор. Най-общо казано, вятърната турбина е уред, който превръща вятърната кинетична енергия в електрическа.

В работата са разгледани механизмите и машините използвани във възобновяеми енергийни източници. С направеният обзор върху ветрогенераторите се показва тяхната приложимост като алтернативни източници на енергия.

В машините използвани във ВЕИ се осъществява работен процес, при който се преобразува механичната енергия и нейното предаване. Предаването на механичната енергия се осъществява чрез съвкупност от подвижно свързани тела, които образуват

механизъм. В уредите движението на подвижните части на чувствителния елемент трябва да се преобразува и предаде на изпълнителното устройство. Това също се осъществява чрез някакъв механизъм, който служи за предаване и мащабно преобразуване на движението и силите.

Механизмите във ВЕИ изпълняват следните задачи:

- предаване на механично преместване от източника на движение към местата и детайлите, където то се реализира;
- силите на източника на движение се предават и се преобразуват в сили и моменти в крайните пунктове за изпълнение на механични операции;
- извършване на изменение на скоростите и преместванията;
- изпълняват функционално преобразуване на механичното движение, т.е. осъществяват преобразуване на движението на телата, извършващо се по един закон, в движение на друго тяло, извършващо се по друг зададен закон.

Цел на преобразуване на движението може да бъде достигането на по-високи или по-малки скорости, увеличаването или намаляването на преместванията, получаването на зададени траектории на движение на отделни елементи на механизма или зададени закони на изменение на преместванията във времето.

Преобразуването на въртеливото движение по механичен начин при предаването му към изпълнителните органи на машината или уреда, се нарича механична предавка.

Механизмите съставят кинематичната основа на машините и механичните уреди и затова те се явяват неотменна тяхна съставна част. Работоспособността на цялата машина или уред като цяло в значителна степен зависи от правилността на работа на техните механизми.

Механизмите, образувачи механичната система, могат да се свързват последователно на принципа „изход – вход” или „изход – стойка” или успоредно.

Входните звена на механизмите могат да се съединят с изходните звена на двигателите или с изходните звена на други механизми. В последния случай се образуват нови механизми, имащи по-сложна структура. Такова последователно свързване на механизмите е на принципа „изход – вход”. Тази схема на свързване е широко разпространена при ветрогенераторите, в които перките на ротора извършват въртливо движение.

Във ВЕИ се използват разнообразни механизми, които могат да се класифицират по конструктивни признаци, към следните групи:

- лостови;
- зъбни;
- винтови.

Може да бъде направена и функционална класификация, която се основава на функцията, която изпълнява механизмът, а именно:

- механизми на двигатели и преобразуватели;
- предавателни механизми;
- изпълнителни механизми;
- механизми за контрол, управление и регулиране;

Механизмите на двигателите осъществяват преобразуване на вятърната енергия в механична, а механизмите на преобразувателите преобразуват механичната енергия в електроенергия.

Предавателните механизми имат за задача да предават движението от ротора на ветрогенератора към електрогенератора. Тъй като вала на ротора има обикновено по-малък брой обороти, отколкото основния вал на електрогенератора, задачата на предавателните механизми се явява увеличаване на оборотите на вала.

Механизми за управление, контрол и регулиране при ветрогенераторите представляват различни устройства за контрол на ъгловата скорост, устройства следящи посоката и скоростта на вятъра, измерителните механизми за контрол на скоростта на вятъра, налягането и др.

Друг признак по който може да се направи класификация на механизмите използвани във ВЕИ е според движението и разположението на неговите елементи в пространството. Те биват: пространствени, равнинни и сферични.

Според вида на преобразуване на движенията механизмите се класифицират на:

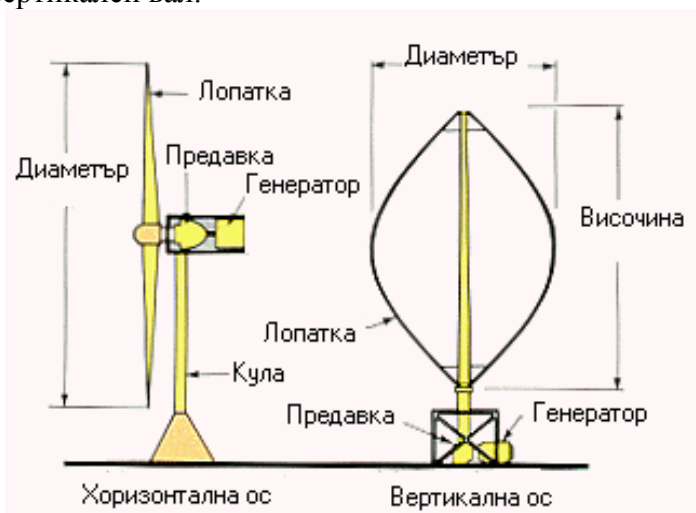
- въртливо движение във въртливо движение – редуктори $\omega_{\text{вх}} > \omega_{\text{изх}}$;
- мултипликатори $\omega_{\text{вх}} < \omega_{\text{изх}}$; съединители $\omega_{\text{вх}} = \omega_{\text{изх}}$;
- въртливо движение в постъпателно движение и обратно.

Във ВЕИ се използват и понижаващи механизми, което позволява да се използват бързоходни, а оттам, малогабаритни и по-евтини електродвигатели при малки скорости на движение на изпълнителните органи на работните машини и уредите.

Повечето съвременни вятърни турбини работят с променливи обороти на ротора. Променливата скорост предлага редица предимства, сред които подобряване на съвместимостта им с електроенергийната система, редукия на товара, енергоспестяване и др. Работата на вятърната турбина с променливи обороти на въртене на ротора би могла да се реализира чрез широко разнообразие от технически решения. При традиционно използваната концепция за работа на турбината с променлива скорост се използва зъбна предавка, като генераторът се свързва към електрическата мрежа през електрически преобразувател.

В експлоатация се срещат най-различни видове вятърни електрогенератори (фиг.1), които най-често се разделят на два основни вида:

- с хоризонтален вал;
- с вертикален вал.



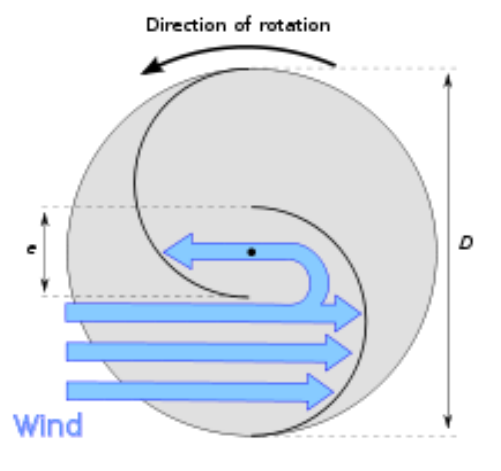
Фиг.1. Видове вятърни турбини

При вятърните централи с вертикален вал роторите са три основни типа: Савониос, Дариус и Н-ротор (фиг.2). Те имат ниска ефективност, но работят при по-ниски ветроскорости, по-лесни са за обслужване и не изискват устройства за насочване.



Фиг.2. Вятърни централи с вертикален вал

Ветроагрегатите тип Савониус са предназначени за по-малки мощности. Конструкцията се състои от две полу-цилиндрични работни повърхнини, свързани към вертикална ос. Двете повърхнини са радиално разместени така, че да се образуват два отвора. Вятърът влиза в единия от двата отвора и оказва натиск върху вътрешната част на едната работна повърхност, като предизвиква нейното завъртане, а съответно и на вала, към който тя е свързана. След това вятърът се насочва към вътрешната стена на втората повърхност (фиг.3), оказва натиск върху нея, завърта я и излиза през втория отвор.



Фиг.3. Принцип на работа на Савониова вятърна турбина

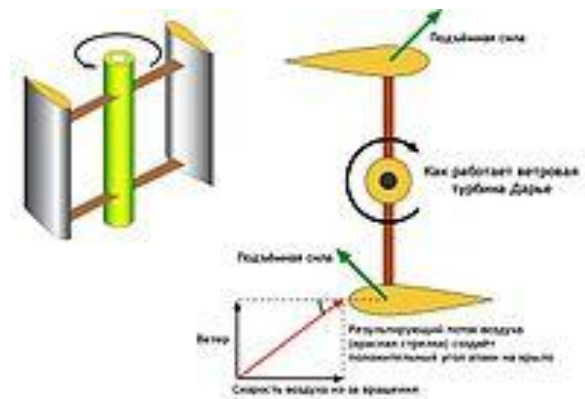
Савониовата турбина е вятърна турбина, работеща на принципа на съпротивлението. Турбината използва различен коефициент на съпротивлението на протичащия флуид, действащо на изпъкналата или вдлъбнатата площ.

Вътрешните краища на лопатките достигат до средата на ротора и по този начин позволяват протичането на флуида между техните задни стени. Оста на въртене е перпендикулярна на посоката на флуида.

Савониовата турбина има малък коефициент на полезно действие (при водните турбини е само около 15 до 20%). Нейното главно предимство е простата конструкция. Когато Савониовата турбина е поставена с вертикална ос на въртене, работи независимо от посоката на вятъра.

Недостатък на двуплатковите Савониови турбини е присъствието на така наречения „мъртъв ъгъл“. Този недостатък се избягва чрез свързването на няколко ротора с различно насочени лопатки или с винтова форма на лопатките.

Ветроагрегатите тип Дарио могат да се задвижват от вятър, който идва от различни посоки и нямат нужда да бъдат ориентирани (фиг.4). Съществуват конструкции с ротор, който да се адаптира към изменение на височината според скоростта на вятъра. При силни ветрове долната част на ротора се повдига, а горната се спуска, с което височината намалява, но работната площ не се променя. Най-голямата вятърна ЕЦ с вертикален вал е Cap Chat - Quebec и е с височина 110 m.



Фиг.4. Принцип на работа на Дариус вятърна турбина

Турбина на Дариус, Дариусов ротор или Мотор на Дариус е вятърна турбина, работеща на принципа на подъемната сила. За разлика от другите вятърни турбини оста на тази турбина е перпендикулярна на посоката на вятъра и турбината обикновено се монтира вертикално. Това прави турбината на Дариус да е независима от посоката на вятъра.

Турбината на Дариус е била изобретена и патентована от френския инженер Жорж Жан Мари Дариус. Турбината била снабдена с устройство за стартиране и регулация. Коефициентът на полезно действие (КПД) на този тип вятърни турбини е около 35 - 38%, т.е. е малко по-висок от Савониовата турбина. Предимствата на този тип турбини са: не е необходимо да бъде насочвана срещу вятъра; генераторът и останалите части могат да се разположат под стълба на турбината; по-малки изисквания към стълба на турбината (тегло, балансиране). Недостатъци на този тип турбини са: трудно регулиране, по-висока скорост на вятъра за стартиране.

Ветроагрегатите Н-тип са много слабо разпространени, въпреки голямото разнообразие на експериментални конструкции.

По данни от пазара, вятърните ЕЦ с хоризонтален вал в употреба са 91%, а с вертикален вал - 9% [4].

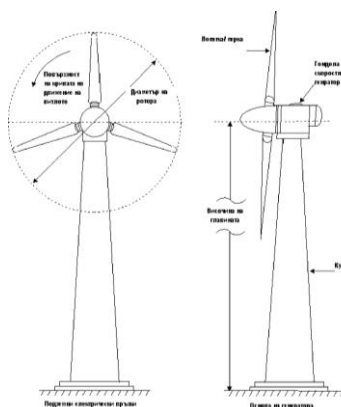
При вятърните електрогенератори с хоризонтална ос на въртене генераторът и ветротурбината са монтирани на общ хоризонтален вал. Роторите са с една, две, три или много лопатки (фиг.5). Мощността на вятърната турбина не зависи от броя на лопатките на ротора, а от работната площ, която те описват при своето въртене.

Вятърните електрогенератори с хоризонтална ос на въртене са с по-висока ефективност. При тях генераторът и въртящият се вал са поставени върху висока кула и се насочват по посока на вятъра по различни начини. Витлата на съвременните вятърни генератори имат аеродинамичен профил, подобен на самолетно крило - подъемната сила е резултат от разлика в налягането, която пък е разлика между скоростта на вятъра под и над перката. Най-разпространеният тип генератори е с три перки (наричани още „Пропелерен тип“) (фиг.6). Отличават се с висока ефективност, слаба промяна във въртящия момент и висока надеждност. Стартовият въртящият момент е малък. Затова този тип турбини работят само при скорости на вятъра над 5 m/s.

Тенденцията е лопатките да са по-малко, но по-дълги, за да нараства работната повърхност и съответно мощността. Преобладаващата част от съвременните вятърни електрогенератори са с две или три лопатки и съвсем рядко - с една. Ветроагрегатите с много лопатки се използват предимно за изпомпване на вода.

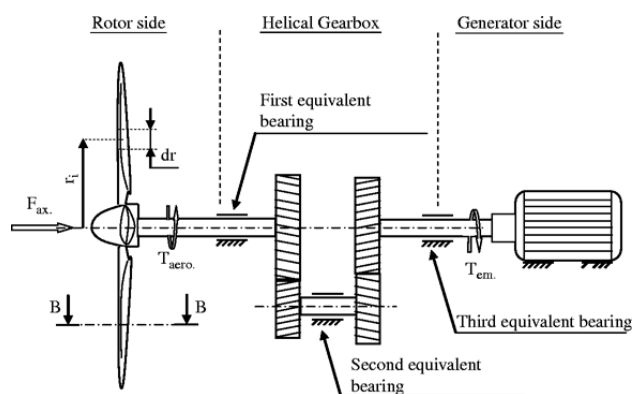


Фиг.5. Вятърните електрогенератори с хоризонтална ос на въртене



Фиг.6. Вятърни електрогенератори „пропелерен тип”

Роторът се състои от хъб, три витла и система за стъпково регулиране на ъгъла на атака на всяко витло спрямо въздушния поток, като всички компоненти са разположени насрещно на вятъра. Те са със специална аеродинамична форма, за да могат да създават и използват подемната сила на въздушното течение. Механичната мощност на роторните витла се подава към генератора посредством трансмисионната система. Тя се състои от кутия с предавателен блок от зъбни колела, блокираща система, както и от спомагателни смазваща и охлаждаща системи. Кинематична схема на конструкцията е показана на фиг.7.

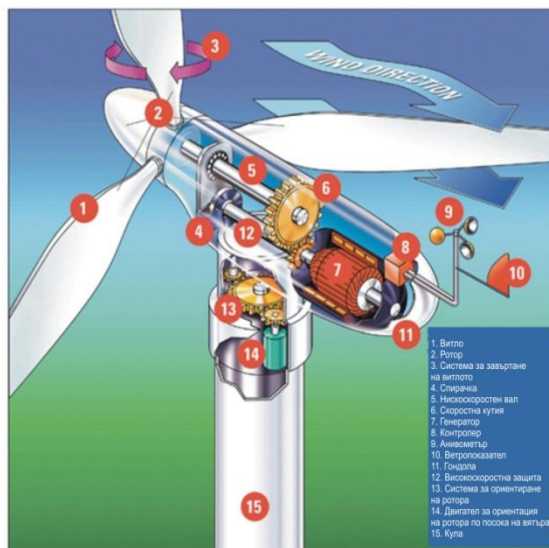


Фиг.7. Кинематична схема на ветрогенератор с хоризонтална ос на въртене

Предавателния блок от зъбни колела осъществява преобразуване на оборотите. Блокиращата система е разработена да “заклучва” генератора, когато турбината е спряна. Въртящата система обръща корпуса (кутията) на ротора по направлението на „вятърната атака”, използвайки задвижващ и зъбен механизъм. Микропроцесорна система следи и контролира състоянието на системите на вятърния генератор. Регулиращите системи са разработени за дистанционно обслужване от станция посредством оптични влакна.

Вятърните турбини могат да бъдат използвани самостоятелно или да бъдат свързани към електрическа мрежа, или дори комбинирани с клетки за събиране на слънчева енергия. Те се монтират върху кула. В повечето случаи вятърът е толкова по-силен и постоянен и по-малко завихрен, колкото по-голяма е височината, до която достига кулата. Самостоятелните турбини обикновено се използват за изпомпване на вода или комуникации, но домакинствата и отдалечените селища намиращи се в по-ветровити зони могат да ги използват за да генерират електрическа енергия.

На фиг. 8. са показани механизмите и машините използвани във ветрогенераторите. Системата се състои от:



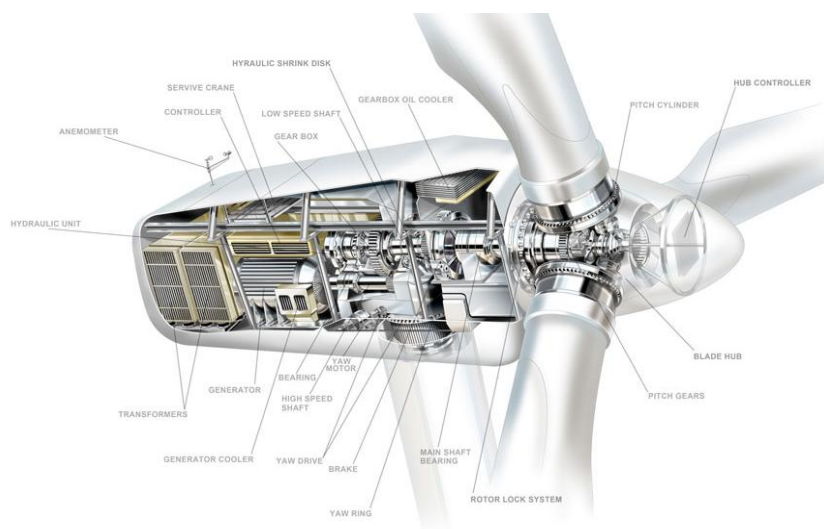
Фиг.8. Елементи на ветрогенератора

- **Гондола** - съдържа най – важните елементи на вятърната турбина (фиг.9.) – скоростна кутия /трансмисия/, спирачки, електрически генератор, система за ориентироване на ротора, хидравлична система, охладителна система. Гондолата се завърта, следвайки посоката на вятъра и по този начин оползотворява максимално количество енергия.

- **Ротор** - улавя вятъра, чрез витлата и предава механичната енергия към главината на ротора.

- **Главина** - присъединява ротора чрез ниско скоростен вал към вятърната турбина.

- **Ниско скоростен вал** (фиг.10.) - свързва ротора към трансмисията. Поместен е във вътрешността на гондолата. Вятърната енергия се превръща в механична енергия на движението.



Фиг.9. Гондола на ветрогенератор



Фиг.10. Ниско скоростен вал

- **Скоростна кутия /трансмисия/** - свързана е към ниско скоростния вал (фиг.11.), предава въртящият момент на високо скоростен вал. Трансмисията представлява мултипликатор, чието предназначение е да увеличава (мултиплицира) оборотите на въртене на високо скоростният вал (вала на генератора), намалявайки въртящия момент без значителни загуби на мощност. Поради променливата скорост на вятъра, ветрогенератора без мултипликатор на практика е неизползваем. При ниски скорости на вятъра максимумът на въртящия му момент е нужен на ниски обороти, а при висока скорост на вятъра - на високи. Именно този недостатък компенсира скоростната кутия, монтирана във ветрогенератора, която изменя предаването на въртящия момент в зависимост текущата необходимост и увеличава оборотите. Механичната част от конструкцията се състои от комплект планетарни предавки, управлявани от лентови спирачки посредством хидравлични клапани. Съединител липсва, но в някои случаи се налага отделяне на кутията от ниско скоростният вал. Със задачата се справя хидротрансформатор. Трансмисията работи бързо и плавно. Основното достоинство на мултипликатора е идеалната приспособимост към условията на работа в зависимост от скоростта на вятъра. Предавателното число се променя плавно и на практика броят на предавките е безкраен, като на изхода от кутията се поддържат необходимите обороти за правилната работа на генератора. Съществен

недостатък на трансмисията е склонността и към прегряване, тъй като функционира за сметка на силите на триене, което налага задължително и изграждането на охладителна система.



Фиг.11. Скоростна кутия (мултипликатор)

По долу на фиг.12 са показани различни типове мултипликатори с предавателно число от 40:1 до 136:1.



Фиг. 12. Мултипликатори

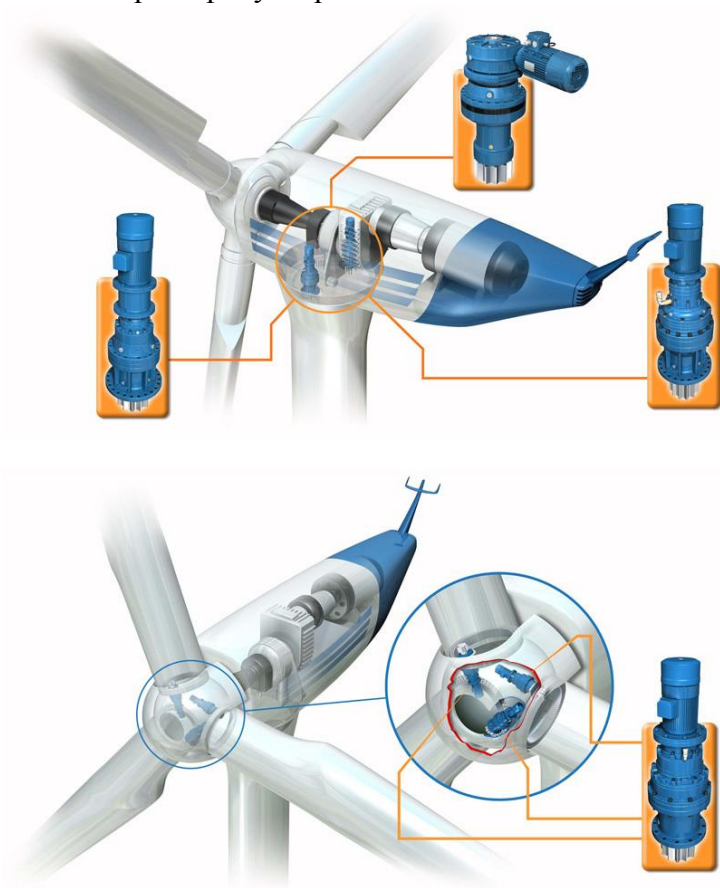
- **Високо скоростен вал с механична спирачка** - задвижва електрическия генератор с около 1500 обр/мин. Механичните спирачки се използват за предотвратяване на аеродинамичните пробиви, при високи скорости на вятъра или спиране на съоръжението.

- **Електрически генератор** - Обикновено е синхронен или асинхронен с генератор максимална електрическа мощност от 500 kW до 7000 kW.

- **Система за ориентиране на ротора** - насочва гондолата и ротора в посоката на вятъра използвайки електрическо или друг вид задвижване.

Използват се мотор-редукторни групи (фиг.13) при които електродвигателят и редукторът са непосредствено свързани и представляват едно изделие. По този начин се избягва използването на съединител между тях, както е необходим при обикновените редуктори. Отличават се с намалени габаритни размери, висок КПД, опростен монтаж в различни пространствени положения, просто обслужване.

Използваните при ветрогенераторите, според кинематичната схема мотор-редуктори се поразделят на обикновени съосни и планетни. В зависимост от вида на използваните предавки, с които е изпълнен редукторът, се различават съответно цилиндрични, конусни, червячни, и комбинирани редуктори.



Фиг.13. Система за ориентиране на ротора и витлата

Цилиндричните редуктори могат да бъдат изпълнени с цилиндрични зъбни колела с прави, наклонени или шевронни зъби; конусните - с конусни зъбни колела с прави и криволинейни зъби, а червячните - с червячна предавка. Възможно е редукторът да е изпълнен от последователно свързани различни по вид предавки - цилиндрични, конусни или червячни. Обикновено за задвижване на мотор редукторите се използват електродвигатели с фланец или на лапи с или без вградена електромагнитна спирачка и принудително охлаждане, стъпкови мотори, както и такива с вградени честотни регулатори (инвертори), като възможното регулиране на оборотите е 1:5 и 1:10.

От качествата и надеждността на електромеханичните задвижвания в най-голяма степен зависят и технико-икономическите показатели на ветрогенераторите.

Развитието на съвременната ветроенергетика определя няколко основни направления в развитието на мотор редукторите използвани във ветрогенератори:

а/ компоновка на електрозадвижването от отделни нормализирани и стандартизирани възли – различни типове редуктори с многоскоростни или

регулируеми електродвигатели и системи за управлението им. Създаването на задвижвания от готови групи или блокове, което спомага за повишаване на надеждността, съкращаване на времето за разработка, монтаж и ремонт;

б/ намаляване на относителното тегло на редукторите, с което се постига икономия на метал и се облекчава обслужването и транспорта им. Това е възможно при използването на материали с високи якостни качества, оптимизирана форма на детайлите, използването на нови технологии и на съвременни методи за термо-химична обработка на елементите (например йонно азотиране, карбонитриране и др.), на прецизни методи на изпитване и други;

в/ използване на усъвършенствани планетни и нови видове механични предавки - вълнови, циклоидни, хипоидни, хиперболоидни, тип Spiroid, тип Helicon, тип Wildhaber, тип Twinspin и други.

При планетните мотор-редуктори се използват различни структурни схеми на епициклични зъбни механизми.

Хиперболоидните предавки са неортогонални високоредуциращи зъбни механизми. Те представляват пространствени зацепвания на различни типове зъбни колела: тип Spiroid е с зацепване на колело с конусен червяк, тип Helicon – на цилиндричен червяк с конусно колело, тип Wildhaber – на цилиндрично колело с глобоиден червяк.

Към основните типове зъбни механизми могат да се отнесат:

Съосен цилиндричен мотор редуктор. При тази схема оста на изходящия вал съвпада с оста на вала на двигателя. Редукторите са едно- дву- или тристъпални с диапазон на предавателното число от 3 до 200. Зъбните предавки са цилиндрични с прави или наклонени зъби. Като правило се монтират "на лапи" или чрез фланец. Компановката на този вид мотор редуктор е сходна на планетните, вълновите и циклоидните редуктори, които също са съосни.

Цилиндричен мотор редуктор с успоредни валове. При него оста на изходящия вал не съвпада с оста на вала на двигателя. Редукторите са едно-, дву- или тристъпални. Диапазонът на предавателното число е от 5 до 200. Използват се цилиндрични зъбни предавки с прави или наклонени зъби. Може да се монтира чрез фланец, "на лапи" или с реактивна опора. Изходящият вал е плътен или кух. Основното конструктивно предимство на кухия вал е, че редукторът може да се монтира към задвижващия вал на машината без използването на еластичен съединител.

Конусен мотор редуктор. При него осите на входящия и изходящия вал се пресичат под 90°. Редукторите са едно-, дву- или тристъпални. Като второ и трето стъпало обикновено се използват цилиндрични зъбни предавки. Диапазонът на предавателното число за тристъпалните редуктори е от 25 до 80. Тези редуктори могат да се монтира чрез фланец, "на лапи" или с реактивна опора. Изходящият вал е плътен или кух.

Червячен мотор редуктор. Обикновено тези редуктори са едностъпални с червячна предавка и предавателно число от 14 до 80 или комбинирани двустъпални с цилиндрично първо стъпало с наклонени зъби с предавателни числа над 90. Сред възможните начини на монтаж са чрез фланец, "на лапи" или с реактивна опора. Изходящият вал е плътен или кух. Червячните мотор редуктори имат плавна и безшумна работа, високи предавателни числа и сравнително малки габаритни размери. Характерна особеност на тези редуктори е свойството „самозадържане”.

Спиroidен мотор редуктор - изпълняват се като едно- и двустъпални. Диапазонът на предавателното число за двустъпалните редуктори е от 5 до 200. Може да се монтира чрез фланец, "на лапи" или с реактивна опора. Изходящият вал е плътен

или кух. Предимствата са както на червячните редуктори, като спироидните имат увеличена товароносимост.

Планетни мотор редуктори - те са съосни, имат малки габаритни размери, но са с по-сложна конструкция. Произвеждат се както за големи мощности с предавателно число от 23 до 1000, така и като едно- и двустъпални сервомеханизми с предавателни числа от 3 до 100.

- **Електронни контролери** - за наблюдение състоянието на турбината системата за ориентиране на ротора и лопатките. В случай на неизправност, автоматично спира работата на турбината. Може да бъде проектирана, така че по електронен път да подава сигнал на оператора на турбината.

- **Хидравлична система** - за обезопасяване на вятърната турбина.

- **Охладителна система** - охлажда електрическия генератор, чрез въздушна или водна охлаждаща инсталация. В допълнение охлаждащата система може да съдържа и система за охлаждане на маслото в трансмисията.

- **Кула** - носи гондолата и ротора.

- **Анемометър и ветропоказател** - измерва скоростта и посоката на вятъра и чрез електронен сигнал до контролера на турбината включва или спира работата ѝ.

References

- [1] Неделчева Ст., ”Нетрадиционни и възстановими енергийни източници в електроенергетиката”, София, 2006.
- [2] Тончев Г., “Вятърни турбини”, Ековат технологии, 2006.
- [3] Mukund R., ” Wind and solar power systems”, CRC press, 1999.