

СПЕЦИФИЧНИ АСПЕКТИ НА ВЯТЪРНИТЕ ГЕНЕРАТОРИ

проф. д-р инж. Радостин Долчинков
Бургаски свободен университет

SPECIFIC ASPECTS OF WIND GENERATORS

Prof. Dr. Radostin Dolchinkov
Bourgas Free University

Abstract: *In recent years, a large number of wind turbines have been combined into large energy complexes. They are the fastest growing industry in the world of energy. This is due to the free wind energy, the environmental advantages and the decreasing prices of NPPs per unit of installed capacity. Poor knowledge of the principle of operation of wind turbines in many cases is a barrier to their use. This is the purpose of this study. 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.*

Key words: *wind turbine, nacelle asynchronous motor, reducer, multiplier.*

Продължаващият и задълбочаващ се енергиен дефицит на изкопаеми горива в европейските държави, включително и нашата, нараства. Увеличава се икономическата зависимост на евродържавите от страните-износители на петрол, природен газ и други дефицитни първични енергоизточници. В тази връзка започна подготовката на нова програма за развитие на възобновяемите енергийни източници в Европа. Тя предвижда рязко нарастване на дела на алтернативните и възобновяемите източници при покриване на енергийните и горивните нужди на евро държавите. В унисон с вече съществуващата и вече новата, още по-строга политика на ограничаване на изкопаемите не екологични източници на енергия е и българската вътрешна икономическа политика, която стимулира развитието на сектора на естествено възстановими енергийни източници.

Един от основните фактори за успешно осъществяване на идея за производство на електрическа енергия от вятърни електрически централи е оценката на енергийния потенциал на вятъра.

В България съществува потенциал и се изграждат ветрови ферми в крайбрежната ни ивица и в места над 1000 метра (фиг.1). Бъдещото развитие в подходящи планински зони и такива при по-ниски скорости на вятъра зависи от прилагането на нови технически решения.

Работата на турбината зависи от скоростта и турбулентността на вятъра, височината на кулата и плътността на въздуха, затова е важно да се познава потенциала в избрания за инсталиране регион на страната и условията, при които е получен.

Съществуват 119 метеорологични станции в България, които регистрират скоростта и посоката на вятъра. Налични са данни за период от над 30 години.

На базата на тези данни, публикувани през 1982 г. е съставена карта на ветровия потенциал. Изследвания на БАН, направени на базата на дългогодишни наблюдения от метеорологичните станции в България и оценката на средногодишните скорости на вятъра, измервани на височина 10 m над земната повърхност, дава възможност да се направи райониране на територията, дадено в табл.1.

Първият район (Зона А) включва обширните равнинни части на страната (Дунавската равнина, Тракийската низина, Софийското поле, долините на р. Струма и р. Места и района на Предбалкана), където средната многогодишна скорост на вятъра като правило не превишава 2 м/сек. Най-висока там е скоростта на вятъра през зимата (февруари, март), а най-ниска – през есента (септември, октомври). Добре е изразен денонощният ход на скоростта на вятъра, предвид наличието на планинско-долинна циркулация в Предбалкана.

Таблица 1.
Зони на ветровия режим в България

Зона	Средна многогодишна скорост на вятъра, m/s	Изчислен ветрови потенциал, W/m ²
I	2-3	< 200
II	4-5	200-500
III	> 6-7	> 500

Вторият район (Зона Б) обхваща части от страната, които са разположени на изток от линията Русе-В.Търново-Елхово и Дунавското крайбрежие, а така също откритите нископланински части до височина около 1000 м., където средната многогодишна скорост на вятъра се изменя от 2 до 4 м/сек. Годишният максимум на скоростта е през зимата (февруари, март), а денонощният – през деня. Минималната скорост на вятъра тук е в края на лятото и началото на есента (август, септември). По Черноморското крайбрежие се наблюдава определено изместване в годишния ход на скоростта : максимумът е през февруари, а минимумът - през юни,юли. В района на владения в морето части от сушата (на носовете) средната скорост на вятъра превишава 4 м/сек.

Третият район (Зона В) обединява откритите и обезлесени планински места с височина над 1000 м. Той се отличава с високи средни скорости на вятъра, значително превишаващи 4 м/сек. Максимумът на скоростта тук е през зимата (февруари), а минимумът през лятото (август). Денонощният ход на скоростта се проследява добре само в преходните сезони – максимумът е през нощта, а минимумът, през деня.

За реален ветрови потенциал в България може да се говори едва след провеждане на измервания със съвременна измервателна апаратура специално за нуждите на ветроенергетиката.

Изследването на ветровия потенциал за нуждите на ветроенергетиката включва:

- Измерване на скоростта и посоката на вятъра с електронни анемометри;
- Запис на средните стойности на параметрите на вятъра за всеки 5 min;
- Натрупване и обработка на информацията за достатъчно продължителен период от време (поне 1 година) със специален софтуер;
- Получаване на параметрите на теоретичното разпределение на Вейбул (средна скорост на вятъра, математическото очакване, константите на разпределението);



Фиг.1. Ветрови потенциал на България

■ Потвърждаване на получените параметри с обработка на наблюдения за средната скорост на вятъра за дълъг период (поне 10 години) по данни от най-близката районна метеорологична станция.

■ Избор на оптимални параметри на вятърните ЕЦ в зависимост от ветровия потенциал.

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.

При избора на място за строителство на вятърна ЕЦ трябва да се имат в предвид следните критерии:

■ метеорологични: подходяща средногодишна скорост на вятъра и наличие на доминираща посока на вятъра;

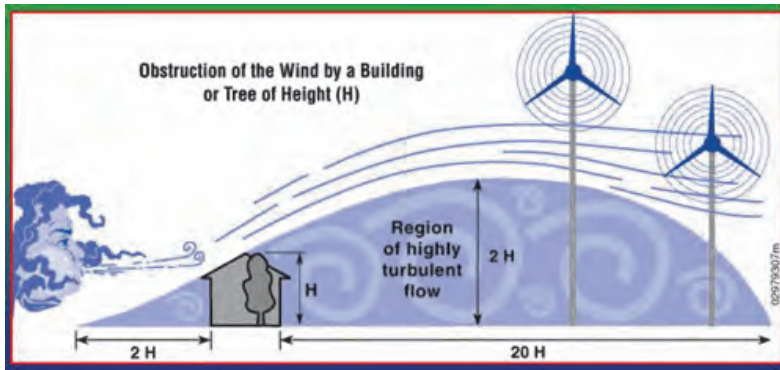
■ технически: ограничаване на отрицателното въздействие върху околната среда.

■ допълнителни условия: избягване на места със завихряне и турбуленция или утежнена експлоатацията поради неблагоприятни климатични условия.

По отношение на надеждността при работа, турбуленцията може рязко и непредвидимо да увеличи риска от аварии, чрез претоварване на въртящите се и други елементи на турбината. Освен това може да предизвика механични резонансни явления, които да разрушат за кратко време ротора и. От гледна точка дължината на експлоатационния период на всяка турбина, турбуленцията води до по-бърза умора на материалите, и то най-вече на роторните лопати. Посочените вредни явления са взаимно-свързани и водят до създаване на потенциал от авария, предизвикано от непредвидимото им неблагоприятно взаимодействие.

Оптималното разположение на вятърните електрогенератори не трябва да се пренебрегва като процедура за намаляване на разходите. Тази процедура е свързана с

оптимизиране на дължината на електрическите проводници (от генераторите до консуматорите). Това води до намаляване разходите за покупката им и електрическите загубите в тях (особено важно при пренасяне на ел. енергия с ниско напрежение). За избора на място се отчита и релефа на района който е причина за турбуленции и намалена електрогенерация. На фиг. 2. е показано влиянието на къща или дърво с относителна височина H . Със синьо е обозначена областта с висока турбуленция. При проектирането трябва да се предвиди растежа на дърветата недостигнали максималната си височина.



Фиг. 2. Влияние на обекти върху турбулентността на вятъра

Едни от първите приложени в бита малки инсталации по света са водоподемните съоръжения. Те са добре известни със широкия си диапазон на практически използване (от различни обекти в селското стопанство до индивидуалното им приложение в малки кооперации и за други, имения, чифлици) още през 19 и 20 век [1]. Тази инсталации се използват за снабдяване с вода и напояване на ливади, пасища, селскостопански имоти, които са далеч от електропреносните мрежи, намират се в полупустинни райони със сушав климат, места с липса на водни ресурси.

През последните години голям брой вятърни турбини се обединяват в крупни енергийни комплекси. Те са най-бързо развиващия се отрасъл в световната енергетика. Това се дължи на безплатната вятърна енергия, екологичните предимства и намаляващите цени ВяЕЦ, отнесени към единица инсталирана мощност. В повечето случаи мощността на ВяЕЦ варира от 25÷250 MW, като в някои случаи по света се достигат и по-големи значения.

В една ВяЕЦ включени вятърните генератори стартират при скорост на вятъра от 3÷5 m/s. При скорост от 13÷15 m/s се постига номинална мощност, която се задържа до 25 m/s. При по-високи значения на скоростта на вятъра генераторите се спират поради опасност от механични повреди. Така значенията на скоростта на вятъра под 3/5 и над 25 m/s са получили названията „Енергийни затишия”, т.е. когато повечето вятърни генератори не работят. Те са от особено значение за даденият регион и тяхното разпределение по височина оказва съществено значение на електропроизводството, а задържането им колкото се може до скоростта с най-висок КПД. На фиг.3 е дадена схема на разпределение на отделните ветрогенератори в системата на ВяЕЦ.



Фиг. 3. ВЯЕЦ

Фирмата производител задава кривата на мощността за всяка вятърна ЕЦ. Това е зависимостта на произвежданата активна мощност от скоростта на вятъра. По кривата на мощността се определят:

V_{max} – максималната скорост на вятъра, до която ветрогенератора функционира;

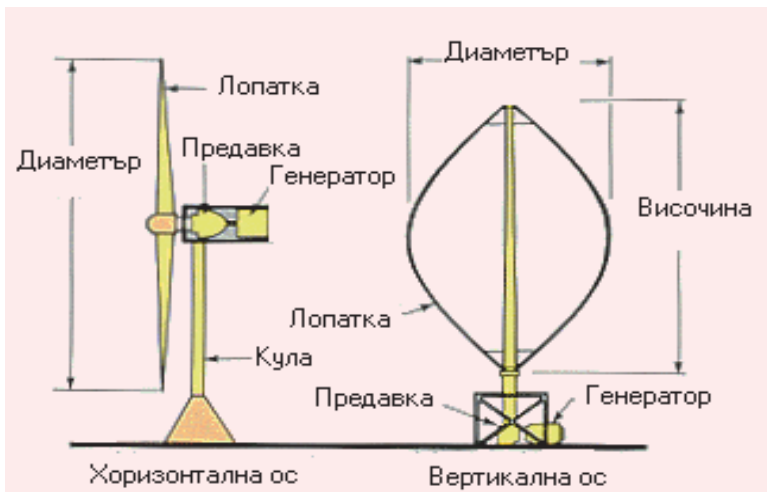
V_{min} – минималната скорост на вятъра, необходима за заработването му;

V_p – скоростта на вятъра, при която се достига максималната мощност.

Тази крива е определяща за избора на местата за монтаж на вятърните ЕЦ. Една вятърна ЕЦ със зададена номинална мощност P , не е рентабилна, когато работи при скорост на вятъра под определена стойност.

В експлоатация се срещат най-различни видове вятърни електрогенератори (фиг.4), които най-често се разделят на два основни вида:

- с хоризонтален вал;
- с вертикален вал.



Фиг. 4. Видове вятърни турбини

Вятърни електрогенератори с вертикален вал.

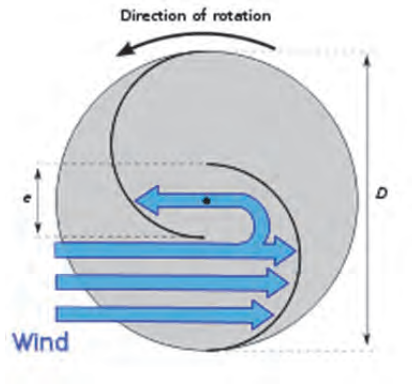
Роторите са три основни типа: Савониос, Дариус и Н-ротор (фиг.5).

Те имат ниска ефективност, но работят при по-ниски ветроскорости, по-лесни са за обслужване и не изискват устройства за насочване.



Фиг. 5. Вятърни централи с вертикален вал

Ветроагрегатите тип Савониос 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. 6), оказва натиск върху нея, завърта я и излиза през втория отвор.



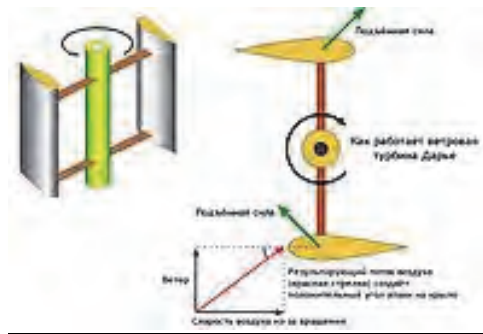
Фиг. 6. Принцип на работа на Савониова вятърна турбина

Савониова турбина е вятърна турбина, работеща на принципа на съпротивлението. Турбината използва различния коефициент на съпротивлението на вятъра, действащо на изпъкналата или вдлъбнатата площ. Вътрешните краища на лопатките достигат до средата на ротора и по този начин позволяват протичането на вятъра между техните задни стени. Оста на въртене е перпендикулярна на посоката му. Савониовата турбина има малък коефициент на полезно действие. Нейното главно предимство е

простата конструкция. Затова особено вятърната версия се използва понякога. Когато Савониовата турбина е поставена с вертикална ос на въртене, работи независимо от посоката на вятъра.

Недостатък на двулопатковите 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 Дариус могат да се задвижват от вятър, който идва от различни посоки и нямат нужда да бъдат ориентирани (фиг.7). 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. 7. 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 от френския инженер Жорж Жан Мари Дариус (Georges Jean Marie Darrieus) в 1931 г. (патентована 8.12.1931). Първата версия на турбината е неуспешна. По-късно 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.

Предимства 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;
- първоначалната конструкция на турбината изисквала по-висока скорост на вятъра за стартирането си (възможно е турбината да бъде развъртяна от турбина от друг тип, работеща от по-ниски скорости на вятъра – например Савониова турбина).

Ветроагрегатите Н-тип са много слабо разпространени, въпреки голямото разнообразие на експериментални конструкции (фиг.5)

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

Вятърни електрогенератори с хоризонтална ос на въртене

При тези вятърни централи генераторът и ветротурбината са монтирани на общ хоризонтален вал. Роторите са с една, две, три или много лопатки (фиг. 8). 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 – подемната сила е резултат от разлика в налягането, която пък е разлика между скоростта на вятъра под и над перката.

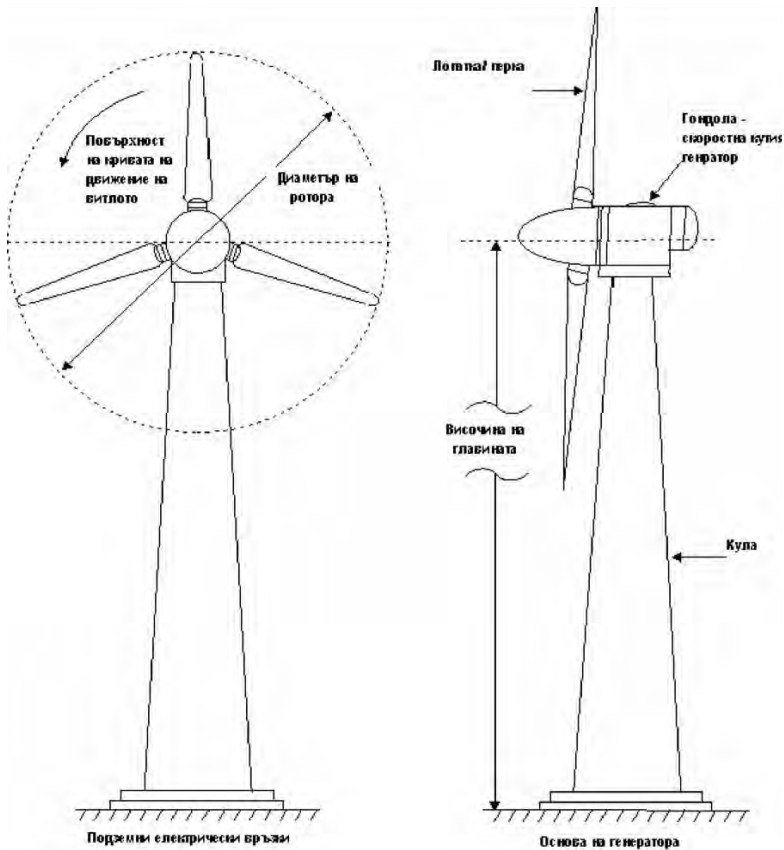


Фиг. 8. Вятърните електрогенератори с хоризонтална ос на въртене

Най-разпространеният тип генератори е с три перки (наричани още „Пропелерен тип“) (фиг. 9). 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.

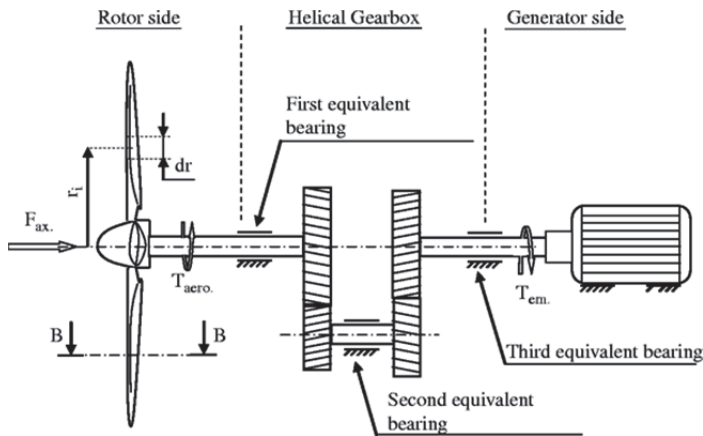
Роторът се състои от хъб, три витла и система за стъпково регулиране на ъгъла на атака на всяко витло спрямо въздушния поток, като всички компоненти са разположени насрещно на вятъра. Те са със специална аеродинамична форма, за да могат да създават и използват подемната сила на въздушното течение. Механичната 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 конструк-

цията е показана на фиг.10. Предавателния блок от зъбни козела осъществява преобразуване на оборотите. Блокиращата система е разработена да „заклучва” генератора, когато турбината е спряна. Въртящата система обръща корпуса на ротора по направление 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.



Фиг. 9. Вятърните електрогенератори пропилерен тип

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.



Фиг. 10. Кинематична схема на ветрогенератор с хоризонтална ос на въртене

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.

Генераторите варират по размери: от произвеждащи 1 kW съоръжения (подходящи за битови сгради) до огромни мултимегаватови (1 MW = 1000 kW) устройства, включени към националната електрическа мрежа.

Специфични аспекти на вятърните генератори

Вятърните ЕЦ са два основни вида: постояннотокови и променливотокови. Преобладаващата част от постояннотоковите вятърни ЕЦ имат мощност от 100 W до 3 kW. Използват се за зареждане на акумулаторни батерии и захранване на осветителни уредби на изолирани обекти, разположени непосредствено до ветроагрегата или в хибридни системи. Постояннотокови съоръжения с по-голяма мощност се срещат изключително рядко поради следните причини:

- невъзможност за трансформация и пренасяне на електроенергията на по-голямо разстояние;
- икономическа нецелесъобразност от използване на батерии към ветроагрегати с мощност над 3 - 5 kW;
- практическа невъзможност за осъществяване на паралелна работа с друг тип генериращи източници и системи, произвеждащи трифазно напрежение.

Автономни вятърни ЕЦ. Все по-често вятърните ЕЦ се използват за електрооснабдяване на автономни и труднодостъпни обекти. Този тип захранване изисква резервиране. В експлоатация се намират хибридни системи, съставени от вятърни ЕЦ в комбинация с други ВЕИ. Хибридните системи, в които най-често участват вятърни ЕЦ, се използват за електрооснабдяване на: помпи за петролни кладенци; напоителни системи в изолирани местности; морски и навигационни платформи; изолирани телекомуникационни обекти; отдалечени селскостопански и битови потребители и др.

Съвременните тенденции при конструирането и производството на вятърни ЕЦ са:

- нарастване на единичните мощности и по-висока технологичност на производство;
- по-леки конструкции с подобрени аеродинамични, естетични и технически параметри;

В последните години коефициентът на използване на вятърните ЕЦ достигна до 0,4, което ги изравнява с ВЕЦ. Този коефициент се изменя през различните годишни сезони.

Вероятностният характер за производство на електроенергия при вятърните ЕЦ определя ниския коефициент на използване на инсталираната мощност в сравнение с традиционните ЕЦ, използващи изчерпаеми източници на енергия.

Ниската стойност на коефициента на използване на инсталираната мощност в момента не е нещо необяснимо за енергетиката, тъй като този параметър се подобрява при усвояването на енергоресурсите за достатъчно продължителен период.

Вятърните ЕЦ са напълно конкурентоспособни на всички други видове ЕЦ, което следва от съпоставката на вложените инвестиции за изграждане и експлоатационните разходи.

Експлоатационни показатели на вятърните централи са:

- коефициентът за използване на инсталираната мощност;
- относителната произведена електроенергия за една година.

Ветрогенераторите се разделят на две основни групи – асинхронните ветрогенератори и синхронни ветрогенератори.

Асинхронните генератори не са популярно решение за производство на електрическа енергия. Когато обаче говорим за вятърни генератори, техните специфични особености им дават редица предимства.

Какъв е принципа за производство на енергия от вятър? Кинетичната енергия на вятъра се предава на перката, която задвижва генератор и генераторът произвежда ток. Звучи просто на пръв поглед. Съществуват някои съществени разлики с традиционните генератори, като тези използвани в ТЕЦ или АЕЦ, които произтичат най-вече от факта, че вятърът е много непостоянен източник на енергия. И главно поради това, вятърните генератори се различават от традиционните и поставят различни технически предизвикателства. Те могат да бъдат директно или индиректно свързани към мрежата, с фиксирана или с променлива скорост, със синхронни или асинхронни генератори. Директното свързване към мрежата означава, че генерираното напрежение се подава директно към мрежата само през трансформатор. При индиректното свързване между генератора и мрежата са разположени ред електронни силови устройства, които осигуряват синхронизацията с мрежата. Главният недостатък на индиректното свързване е по-високата цена, защото генерираното напрежение най-напред се изправя, а след това се инвертира отново с честотата и фазата на енергийната система. Освен това наличието на инвертор и изправител сваля общата ефективност, а може да внесе и нежелани изкривявания в мрежата. Затова пък самите генератори са по-евтини и по-леки и няма нужда да се управляват – след като генерираното напрежение ще се изправя и инвертира на практика отпадат всякакви грижи, свързани със скоростта на въртене на генератора, а от там и с честотата на генерираното напрежение. В традиционните електроцентрали синхронният генератор няма алтернатива, но нещата не стоят така при вятърните централи, където своите предимства имат и асинхронните машини и затова се използват и двата вида.

Синхронни генератори

Синхронните ветрогенератори са проектирани така, че синхронният генератор с постоянни магнити, роторните крила и главината са свързани директно. По този начин се избягва използването на скоростна кутия. Благодарение на това се постига висока износостойчивост на въртящите се части, заради ниските скорости на върте-

не. Постигат се достатъчно ефективни и мощни ветрогенератори с ниски разходи по поддръжка. Въпреки това те не са навлезли масово във вятърната индустрия.

Най-простата конструкция на синхронна машина е с постоянни магнити в ротора, но се използват и генератори с постояннотоково възбуждане. Причината да няма монопол на по-ефективните синхронни генератори с постоянни магнити е, че при работа в силното магнитно поле на генератора постоянните магнити показват склонност към размагнетизиране с времето. Цената на тези магнити е също сериозна, макар да показва тенденция към спадане. При другия тип генератори в ротора вместо постоянни магнити на практика имаме електромагнити, които се намагнитват с постоянно напрежение, най-често получено чрез изправяне на мрежовото напрежение. Захранването с постоянно напрежение става най-често през пръстени и четки на ротора. Важно е, че скоростта на синхронния генератор, когато е директно свързан към мрежата, е постоянна и се диктува от мрежовата честота. Т.е. скоростта е вързана за мрежовата честота, но зависи и от броя на полюсите в генератора. В зависимост от броя полюси са възможни следните скорости:

Таблица 2

БРОЙ ПОЛЮСИ	50 Hz	60 Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

Както се вижда от таблицата, възможни са големи разлики в скоростите на генераторите. Традиционното решение е генератори с четири или шест полюса, защото тези сравнително високоскоростни генератори са по-евтини и с по-малки габарити и тегло. Но на пазара се предлагат също и високо, средно и ниско скоростни генератори.

Асинхронни генератори

Асинхронните машини са евтини и надеждни, но рядко се използват като генератори, освен при вятърни турбини и малки ВЕЦ. По принцип масовото разпространение на тези машини е свързано с факта, че асинхронният двигател е „работният кон“ на промишлеността и се използва за задвижване на всякакви механизми. По тази причина те се произвеждат масово и не крият тайни или нерешени проблеми. Освен цената и надеждността, тези генератори са удачен избор за вятърни турбини и заради способността им за претоварване в известни граници.

Асинхронните електрически машина са основно два типа – с навит и с кафезен ротор. Всъщност машината с навит ротор е много близка по принцип на действие до синхронния генератор, а основната разлика между синхронния генератор и асинхронния генератор с кафезен ротор е в ротора. При асинхронния генератор роторната на-

мотка се състои от медни или алуминиеви пръчки захванати с дискове от същия материал. Ценно е, че роторът автоматично се настройва към броя полюси на статора.

Когато статорът е свързан към мрежата, асинхронната машина ще започне да се движи като електродвигател със скорост малко по-ниска от синхронната скорост (скоростта на въртене на статорното магнитно поле). Ако обаче завъртим ротора със скорост по-голяма от синхронната, роторът ще започне да се движи по-бързо от въртящото се поле и така в статора ще се генерира напрежение. т.е. двигателят започва да работи като генератор. Скоростта на асинхронния генератор все пак може да се променя с изменението на задвижващата сила, приложена към вала, но тази разлика е в рамките на 1% и се нарича хлъзгане. Важното е, че когато генераторът е свързан към мрежата с честота 50Hz той автоматично поддържа скоростта си на въртене, да кажем от 1515 оборота в минута за четириполюсна машина. Друг важен момент при асинхронните генератори е, че за да работят те имат нужда от реактивна енергия за намагнитване. По тази причина асинхронен генератор не може да работи, ако е индиректно свързан с мрежата. (Тук изключваме използването на кондензатори, предварително намагнитване и други методи които не са ефективни.)

Постоянна или променлива скорост?

Вятърните турбини могат да оперират или с постоянна (по-точно слабо колебаеща се в рамките на 1%, както беше споменато по-горе) или с променлива скорост. Генераторите с постоянна скорост се свързват директно към мрежата, понеже скоростта е практически фиксирана към мрежовата честота. Но постоянната скорост означава, че няма как да се възползваме от поривите на вятъра и да оползотворим тази допълнителна енергия. Нещо повече, тази енергия предизвиква промени в генерираната мощност и влошава качеството на мрежата. При вятърните турбини с променлива скорост генераторът се управлява от силова електроника, която позволява да се управлява скоростта на ротора. По този начин флукуациите на мощността, причинени от поривите на вятъра, могат повече или по-малко да бъдат абсорбирани от променящата скоростта си ротор. Така се избягват измененията в генерираната мощност и се подобрява качеството на мрежата.

При вятърна турбина с постоянна скорост и асинхронен генератор, свързването към мрежата е директно и се поддържа постоянна скорост. При фиксираната честота на мрежата скоростта на въртене на ротора се определя от броя на полюсите. Освен това се подбира и редуктор с такова преводно отношение, че скоростта на перката да е най-близка до най-честата скорост на вятъра и при тази скорост на перката скоростта на вала на генератора да е най-близка да синхронната скорост. Често такива вятърни турбини могат да работят с две фиксирани скорости. Това се постига с използване на два генератора с различен брой полюси или с един генератор с двойна намотка. По този начин се подобрява ефективността на използване на вятъра и се намаляват загубите от намагнитване при ниски скорости.

При вятърната турбина с променлива скорост към статора на генератора е свързан преобразувател, който позволява да се поддържа фиксирана честота на генерираната енергия въпреки променливата скорост на въртене. Самият генератор може да бъде или кафезен асинхронен, или синхронен тип. Редукторът се подбира така, че оптимално да напасва скоростта на перката към скоростта на ротора. От таблица 2, се вижда, че при синхронните генератори може да се използва конструкция с променлив брой полюси и така да отпадне нуждата от редуктор. Предимство на тази конфигурация е надеждната и добре разработена система за управление.

Вятърна турбина с променлива скорост и асинхронен генератор с двойно захранване

Това по същество е асинхронен генератор с навит ротор, при който статорът е директно свързан към мрежата, но роторът също е свързан към мрежата през преобразувател посредством система от четки и пръстени. Тази система е много популярна при генераторите с променлива скорост главно поради факта, че силовият преобразувател е с мощност от само 20-30% от цялата мощност. От там и загубите в силовата електроника са по-малки отколкото при системи, които преобразуват пълната мощност, а и цената е по-ниска. По-нататък ще обърнем повече внимание именно на този тип генератори.

Електрическите машини могат да бъдат с единично захранване или с двойно захранване. В първия случай имаме само един комплект намотки, който активно участва в преобразуването на енергията, а във втория случай имаме два активни комплекта намотки. Обикновеният асинхронен двигател с навит ротор и синхронният двигател с външно възбуждане са машини с единично захранване. За разлика от тях електрическите машини с двойно захранване притежават два комплекта трифазни намотки с независимо захранване, които активно участват в процеса на преобразуване на енергията, като поне едната от намотките е свързана към електронно управление за работа от под синхронна до свръхсинхронна скорост. т.е. машините с двойно възбуждане всъщност са синхронни машини с ефективен диапазон на скоростта при постоянен момент, достигащ два пъти синхронната скорост при дадена възбуждаща честота. Това е двойно повече от нормалните машини с един активен комплект намотки. Трифазен четков апарат е традиционното решение за подаване на енергия към подвижния комплект намотки за осъществяване на неговото независимо управление. Четковият апарат обаче изисква обслужване и смяна на четките, а също и намалява надеждността и ефективността на машината и затова се правят опити за безчеткови конструкции, но там трябва да се преодоляват други проблеми, за които се споменава по-нататък.

Теоретично тези машини са с по-добри показатели – цена, размер и ефективност, от обикновените машини, но са склонни към неустойчивост и са много трудни за реализация като електромотори. Затова този тип двигатели не са се наложили в практиката, но пък електрическите машини с двойно захранване са се оказали много подходящи за работа като генератори във вятърни турбини. Електрическата машина с навит ротор и двойно захранване и безчетковата електрическата машина с навит ротор и двойно захранване са единствените примери за синхронни машини с двойно захранване.

Ако пренебрегнем загубите в четковия апарат, то теоретичните загуби на електрическата машина с навит ротор и двойно захранване при работа с надсинхронна скорост са съизмерими с тези на най-ефективните машини (напр. синхронната машина с постоянни магнити), защото общият ток е разделен между роторния и статорния пакет намотки, а загубите в намотките са пропорционални на квадрата на стойността на тока, протичащ през тях. Ако добавим също, че управляващата електроника управлява по-малко от половината от мощността на машината, то двигателят/генераторът с двойно захранване (без четковия апарат) теоретично показва наполовина по-ниски електрически загуби, в сравнение с други подобни машини.

Ако пренебрегнем четковия апарат и приемем еднаква плътност на потока във въздушната междина на машината, то електрическата машина с навит ротор и двойно захранване се явява по-компактна от алтернативните машини, защото при обикновените машини роторният пакет е пасивно тяло, което не допринася активно за генери-

рането на енергия. Възможността за работа при по-висока скорост за дадена честота на възбуждане също е индикатор за по-висока относителна мощност. Скоростният диапазон на работа с постоянен момент достига 6000 rpm при 50 Hz за двуполусна машина, сравнено с 3000 rpm при обикновените машини. Ако отново пренебрегнем четковия апарат, теоретично цената на такава машина би трябвало да е много по-ниска от цената на аналогични конвенционални машини, защото мощността на управляващата електроника, която е съществена част от цената на всяка система с променлива скорост, е над 50% по-малка от електрониката за управление на други подобни системи.

Генератори с двойно захранване

По-горе вече беше споменато, че електрическите машини с навит ротор и двойно захранване са се оказали непрактични и неудобни за работа като електродвигатели, но пък много удобни за използване като генератори във вятърни турбини. Принципът на работа на индукционния генератор с двойно захранване е, че роторните намотки се свързват към мрежата през четков апарат и преобразувател на напрежение, който управлява едновременно и роторния, и мрежовия ток и така роторната честота може да се различава от мрежовата честота (50 Hz или 60 Hz). Използването на преобразувателя за управление на роторния ток дава възможност за настройване на подаваните от статора към мрежата активна и реактивна мощности независимо от скоростта на въртене на генератора. Принципът на управление е или векторен контрол или пряко управление на момента (DTC). Практиката е показала, че DTC дава по-добра стабилност, особено когато от генератора се изискват големи реактивни токове.

Роторите на индукционните генератори с двойно захранване обикновено се изработват с брой на навивките 2-3 пъти по-голям от този в статора, от което следва, че роторното напрежение ще бъде по-високо, но роторните токове ще са по-малки. Така за типичния 30 процентов работен диапазон на генератора около синхронната скорост работните токове на преобразувателя ще бъдат малки, а това е много съществено за цената му. Недостатък на този подход е, че става невъзможно да се осъществява управление извън този 30 процентов диапазон, защото роторното напрежение се повишава над номиналното. Освен това преходните напрежения, причинени от мрежови смущения, също ще бъдат пропорционално усилены. За да се предотвратят твърде високите роторни нарежения, а и резултантните големи токове, и да се защитят полупроводниковите елементи на преобразувателя се използват защитни вериги, наречени кроубари – железен лост. При възникване на големи токове защитната верига байпасира роторните намотки през малко съпротивление. За да се възстанови след това работата по възможно най-бързия начин, се използват активни кроубари. Активният кроубар може контролирано да прекъсне байпасирането и така преобразувателят отново да започне работа след отминаване на мрежовото смущение, типично след около 20-60 ms.

Следователно, индукционните генератори с двойно захранване имат няколко предимства, в сравнение с конвенционалните генератори, при използване във вятърни турбини:

1. В следствие на преобразувателя, управляващ роторния ток, генераторът може и да черпи, и да генерира реактивна енергия. Това е важно за стабилността на енергийната система и дава възможност да се подпомага възстановяването на мрежата след сериозни напреженови сътресения;

2. Управлението на роторния ток и напрежение позволява на генератора да остане в синхрон с мрежата независимо от промените на скоростта на въртене на перката. По този начин по-ефективно се оползотворяват промените в скоростта на вятъра, а работният диапазон от 30%, в който това е възможно, се оказва доста приемлив;

3. Цената на преобразувателя е по-ниска в сравнение с други решения за променливо скоростни вятърни генератори, защото през преобразувателя преминават само 20-30% от генерираната мощност към мрежата, а останалите 70-80% се подават директно през статора. По същата причина и ефективността на системата е много добра.

Безчеткови индукционни машини с двойно захранване

Ако сте забелязали, когато по-горе изреждахме предимствата на индукционните машини с двойно захранване, винаги оставяхме настрана четковия апарат. Това е така, защото четковите апарати носят загуби, изискват обслужване и редовна смяна на износените четки. Възможни са и вредни явления като кръгов огън и други. Затова е съвсем разбираем стремежът да се елиминира това слабо звено, още повече, че идеята за елиминиране на четков апарат в двигатели не е нова. Безчетковите индукционни машини с двойно захранване имат същата електромагнитна структура, като на обикновената машина с двойно захранване, но четковият апарат е заменен с безконтактен метод за независимо захранване на роторния комплект намотки с трифазна енергия. Те се проектират с два комплекта трифазни намотки с различен брой полюси в статорния пакет. Поради различния брой полюси в намотките се получава нискофреkwотна магнитна индукция в целия скоростен диапазон. Едната статорна намотка (силовата намотка) се свързва към мрежата, а другата намотка (управляващата намотка) се захранва от честотен преобразувател. Скоростта на вала се регулира чрез промяна на честотата в управляващата намотка. Както при всички машини с двойно захранване и тук мощността на честотния преобразувател е само малка част от пълната мощност на машината. В добавка, специално конструираният роторен пакет се опитва да фокусира по-голямата част от общото магнитно поле по непряк път през въздушната междина между статора и ротора и през роторния пакет, за да се осъществи индуктивно (т.е. безчетково) свързване между двата комплекта намотки. В резултат на това тези съседни намотки се възбуждат независимо и активно участват в електро-механичното преобразуване на енергията, което е основният критерий да имаме машина с двойно захранване. Недостатъци на безчетковата електрическа машина с двойно захранване са, че магнитната сърцевина не се използва ефективно и статорният пакет с двойна намотка физически има по-голям размер от други машини със сходна мощност. Типът на роторния пакет определя дали машината ще бъде от индукционен или магнитно-съпротивителен тип. Скоростният диапазон, в който имаме постоянен момент, винаги е по-малък от 1500 rpm при 50 Hz, защото ефективният брой на полюсите е осреднена стойност от различния брой полюси на двете съседни намотки. Безчетковите електрически машини с двойно захранване се отличават с недобри електромагнитни характеристики, което компрометираща предимствата от размер, цена и електрическа ефективност. По тази причина безчетковите машини не се радват на голям търговски успех още от времето на първата си поява през седемдесетте години на миналия век, но теоретичните им предимства карат производителите да не спират да работят върху тази концепция в търсене на оптимално решение. Трудността се състои в това, че моментът на индукционната машина с двойно захранване зависи едновременно и от хлъзгането, и от положението на ротора, което поражда нестабил-

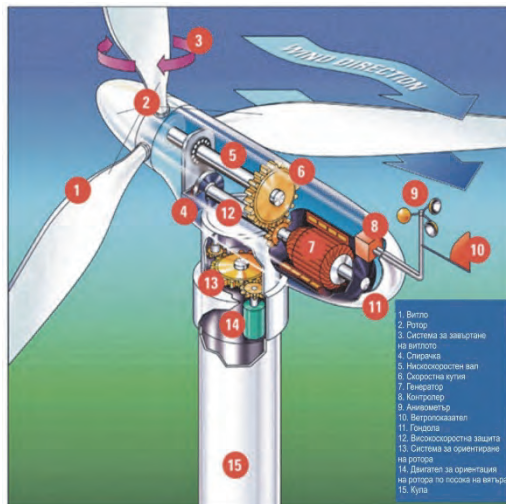
ност. За да се стабилизира работата на машината, честотата и фазата на трифазната променлива енергия трябва да бъдат синхронизирани към скоростта и положението на вала, което не е лесно за всяка скорост, и е особено трудно около синхронната скорост, където индуктивността изчезва. Ако се избегнат тези усложнения всички предимства на конвенционалната машина с двойно захранване могат да се реализират и безчетков апарат. На пазара има патентовани решения на работещи конструкции от такъв тип.

На фиг. 11. са показани механизмите и машините използвани във ветрогенераторите. Системата се състои от:

- гондола – съдържа най-важните елементи на вятърната турбина (фиг.12.) – скоростна кутия /трансмисия/, спирачна система, система за енергийно преобразуване, система за ориентиране на ротора, хидравлична система, охлаждащна система, система за съпровождане на вятъра, система за управление, система за безопасност, система за наблюдение на състоянието и система за защита против мълнии. Гондолата се завърта, следвайки посоката на вятъра и по този начин оползотворява максимално количество енергия.

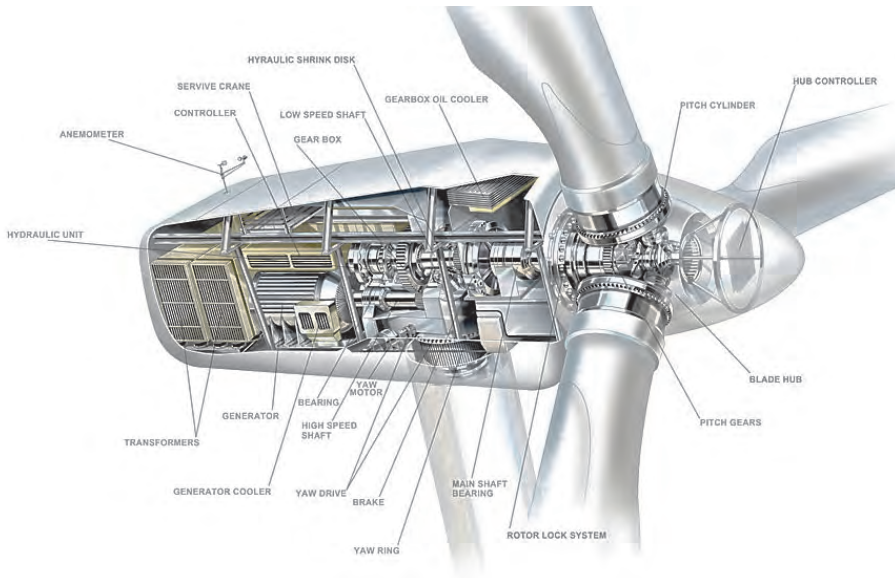
- ротор – улавя вятъра, чрез витлата и предава механичната енергия към главината на ротора. Състои се от три перки, роторна главина, три въртящи се венеца и електрически трифазни двигатели за позициониране на перките. Роторните перки са направени от висококачествена пластмаса, подсилена с фибростъкло. Системата за позициониране /система за регулиране ъгъла на атака/ е тройно подсигурана и е разположена в главината. Перките са оборудвани с датчици против мълнии. Електричеството от мълниите се отвежда в главината.

- главина – присъединява ротора чрез ниско скоростен вал към вятърната турбина.



Фиг. 11. Елементи на ветрогенератора

- ниско скоростен вал – свързва ротора към трансмисията. Поместен е във втършеността на гондолата. Вятърната енергия се превръща в механична енергия на движението.



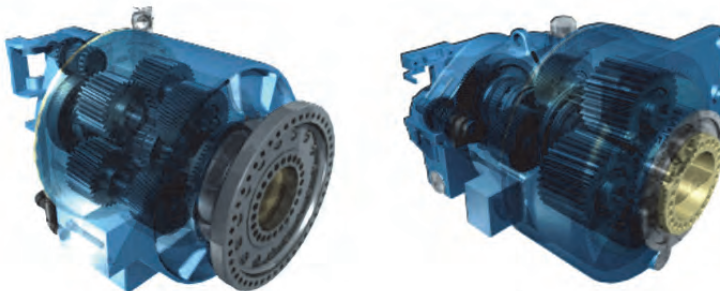
Фиг. 12. Гондола на ветрогенератор

- скоростна кутия/трансмисия/ – фиг. 13 – свързана е към ниско скоростния вал и предава въртящия момент на високо скоростен вал. Трансмисията представлява мултипликатор, чието предназначение е да увеличава оборотите на въртене на високо скоростния 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 от 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 отделане на кутията от ниско скоростния 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. 13. Скоростна кутия (мултипликатор)

По долу на фиг. 14 са показани различни типове мултипликатори с предавателно число от 40:1 до 136:1.



Фиг. 14. Мултипликатори

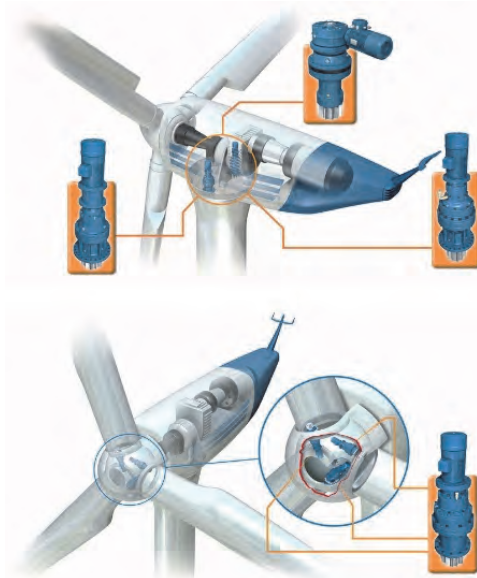
- високо скоростен вал с механична спирачка – Задвижва електрическия генератор с около 1500 обр/мин. Механичните спирачки се използват за предотвратяване на аеродинамичните пробиви, при високи скорости на вятъра или спиране на съоръжението.

- система за енергийно преобразуване – Електрически генератор – Обикновено е синхронен или асинхронен генератор с максимална електрическа мощност от 500 до 7000 kW. Инверторът е предназначен за ниско напрежение и е разположен в гондолата. Трансформаторът за преобразуване на полученото електрическо напрежение е разположен в гондолата. Използват се трансформатори със силиконово масло, които се отличават с компактност, малки загуби на празен ход, ниски разходи за рециклиране, възможности за претоварване и висока устойчивост против свръхнапрежения и прекомерни вибрации. Електроразпределителното табло за средно напрежение се намира в основата на кулата /при тръбна кула/ или в компактна станция /при решетъчна кула/.

- 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. 15) 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 редукторите обикновено се поразделят на 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. 15. 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 със или без вградена електромагнитна спирачка, с възможност за енкодери и принудително охлаждане, стъпкови мотори, както и такива с вградени честотни регулатори (инвертори), като възможното регулиране на оборотите е 1:5 и 1:10.

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

- 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;

- 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 термохимична обработка на елементите (например йонно азотиране, карбонитриране и др.), на прецизни методи на изпитване и други.

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

Към основните типове мотор редуктори 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 (тип разгънат). 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 кухня 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“. Основното им конструктивно предимство е кръстосаното на 90° положение на входящия и изходящия вал, което се явява удобство в случаите, когато няма възможност (например по изискванията за габарити или компановка) да се разположи съосен или мотор редуктор с успоредни валове;

- Спириоден 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 спириодните 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 – хидравличните възли се използват за механичната спирачка на двигателната ос, за азимутната спирачка, за отваряне и затваряне на покрива на гондолата и за блокиране на ротора – фиг.16;

- охладителна система – редукторът, генераторът и инверторът на ветрогенератора имат независими една от друга активни охладителни кръгове. Охлаждането на редуктора се изпълнява с маслено-въздушен кръг. Охлаждането на електрическия генератор и инвертор се извършва чрез въздушна или водна охладителна инсталация. Всички системи са изпълнени така, че дори при високи външни температури да осигуряват оптимални работни температури. За предпазване от замръзване към охладителната течност се добавя гликол. Температурата на лагерите на генератора и редуктора, маслото на редуктора, намотките на генератора, токоизправителните модули и охладителните вещества се следят автоматично. Всеки охлаждащ кръг има отделен термостатен вентил. Отвеждането на топлината от редуктора на маслено-въздушния топлообменник се извършва посредством една механична и една електрически управляема помпена система. Инверторът на ветрогенератора има външна водна охладителна система. В допълнение охладителната система може да съдържа и система за охлаждане на маслото в трансмисията;

- спирачна система – аеродинамично действащата спирачна система е изпълнена чрез три независимо регулируеми роторни перки, които могат да се завъртат в границите от 0 до 90 градуса. Системата за регулиране ъгъла на атака се състои от централна разпределителна кутия и контролно табло. Допълнително към позиционирането на отделните перки, ветрогенераторът е оборудван с хидравлична дискова спирачка, която спира ротора при режим на свободно въртене;

- система за управление – управлението, настройките и визуализирането на съоръжението се извършва посредством програмируем логически контролер. Основните функции на контролера, както и обновяване на програмата, синхронизация по време и обработка на данни, както и функции на управлението като следене на вятъра, събиране на измерените стойности и алармиране са налице под формата на работещи програмни модули;

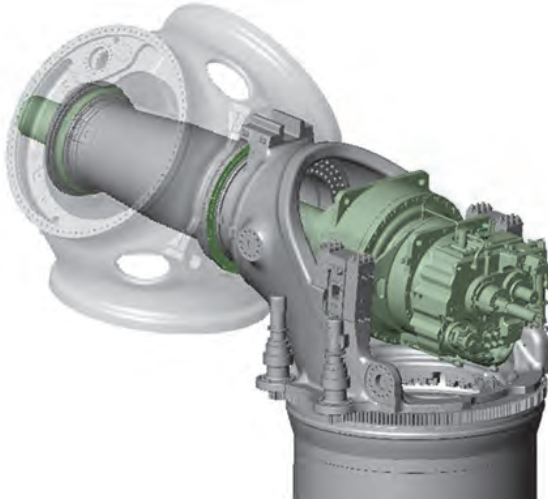
- система за безопасност – изградена е за да се обезопаси ветрогенераторът при всякакви условия, особено при отказ на системата за управление или на отделни елементи и системи. Спирачната система може да бъде задействана от Матрична система за безопасност, независимо от системата за управление;

- система за наблюдение на състоянието – вибрационното поведение на съоръжението се следи автоматично онлайн. С помощта на акустични датчици намиращи се на основния лагер, на редуктора и на генератора, се записват ширококолентовите ускорения. Събира се информация, като амплитудни хистограми, пикови стойности и други, които са на разположение за изготвяне на оценка и отчети;

- система за защита от мълнии – състои се от индивидуално пригодена комбинация от отделни предпазни мерки, които се избират от области, като външна защита от мълнии, с която електрическият заряд от мълния се улавя, отклонява и отвежда в земята или мерки за изравняване на потенциала, посредством които се намаляват раз-

ликите в потенциала и чрез използване на защитно изключване на всички линии на всяка гранична зона;

- 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.



Фиг. 16. Разрез на ветрогенератор

Ветрогенераторите са навлезли широкомащабно в индустрията. Снабдяването на енергийни консуматори е необходимо непрекъснато и денонощно, като честотните отклонения и напрежението на тока от номиналните значения се допуска в твърде ограничени граници. Проблем се явява когато вятърът намали своята интензивност или спре. Тогава ветрогенераторите са неработещи, а това се отразява на целия производствен цикъл. Наличието на пълно безветрие изисква използването на резервни неветрови инсталации. Като такива могат да бъдат бензинови или дизелови двигатели, които да допълват недостика от мощност за вятърната централа. Използва се паралелност на двете системи, като се планира тяхната работа.

Вятърният агрегат и използваният допълнителен източник, наречен не вятърен двигател при съвместна работа функционират по следните схеми:

- Вятърният агрегат работи изолирано с присъединен товар. Резервната не вятърна инсталация се включва само в период на безветрие;
- Вятърният агрегат и резервната не вятърна инсталация работят самостоятелно, а консуматорите на електроенергия автоматично или ръчно се включват в зависимост от скоростта на вятъра или товар към едната или към другата инсталация. При устойчиви скорости на вятъра или при липса на товар, резервната инсталация не работи;
- Вятърният двигател и невятърният двигател работят съвместно на общ генераторен вал. Преразпределението на товарите между двигателите става автоматично – паралелна работа при механично свързани двигатели;
- Вятърният агрегат и невятърната инсталация са съединени помежду си електрически, т.е. работят паралелно за обща мрежа, захранваща консуматорите. Преразпределението на товара става автоматично.

За да може да работят тези схеми е необходимо резервната не вятърна инсталация да отговаря на определени изисквания като, възможност за бързо включване в работа и поемане на целия товар, автоматични работни режими с прости средства.

Вятърната енергетика е най-бързо развиващият се сектор в световен мащаб, а вятърът много скоро ще се превърне в най-евтиният източник на енергия в света. Пълният потенциал на вятърната енергия все още предстои да бъде усвоена. Комбинираното използване на вятърната енергия с други ВЕИ /хибридни системи/ е бъдещето на електропроизводството както в България така и в света.

Литература:

1. Калчевски С., ВЕИ, вторични енергийни ресурси и съвременни аспекти при тяхното оползотворяване, Част 1, София, 2012.
2. Иванов П., Практическо използване на вятъра в България за производство на електроенергия, София, 2007.
3. Божинов М., Възобновяеми енергийни източници, Варна, 2003.
4. Димитров Д, В. Лазаров, Възобновяеми източници на енергия, ИПК на ТУ София, 2000.
5. Сейменлийски К., С. Лецковска, Р. Симионов, Актуални аспекти на влиянието на електротехнически съоръжения върху околната среда, МНК Синя икономика, БСУ 2018, с. 257-262, Сборник доклади, ISBN 978-619-7126-57-0.
6. Seymenliyski K., E. Zaerov, R. Simionov, S. Letskovska, Reducing The Environmental Impact Of Electrical Installations, International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech 2018) Sofia, Bulgaria 11-14 June 2018, IEEE Catalog Number: ISBN: 978-1-5386-7040-8, p.206-209.
7. Seymenliyski K., S. Letskovska, R. Simionov, E. Zaerov, Electrical Equipment Impact On The Environment And Quantity Factor Measurement, ICTRS '18, October 8-9, 2018, Barcelona, Spain ISBN: 978-1-4503-6580-2, <https://doi.org/10.1145/3278161.3278168>, Proceedings of the Seventh International Conference on Telecommunications and Remote Sensing, p. 41-44.