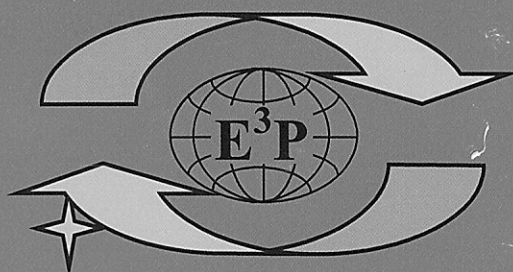


ЕКОЛОГИЧНО ИНЖЕНЕРСТВО И ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА



ECOLOGICAL ENGINEERING AND ENVIRONMENT PROTECTION

ГОДИНА

15

YEAR

КНИЖКА

4/2016

ISSUE

Редакционна колегия:

проф. Александър Александров
Действителен член на БАН
проф. Александър Садовски
Действителен член на МАНЕ
Проф. Александър Таширев
(Украйна)
проф. Владимир Лазаров
проф. Владимир Елисашвили
(Грузия)
проф. Вячеслав Илин
(Русия)
доц. Данка Гълъбова
доц. Денчо Денчев
(Зам. отговорен редактор)
проф. Йордан Ников
(Франция)
доц. Иван Симеонов
(Отговорен редактор)
проф. Клеменс Постен
(Германия)
Доц. Людмила Кабаиванова
проф. Нешо Чипев
доц. Пламен Ангелов
(Зам. отговорен редактор)
проф. Румен Недков
проф. Светла Маринова
доц. Тонко Петков
проф. Христо Найденски
Дописен член на БАН
проф. Яна Топалова
(Зам. отговорен редактор)

*Издание на Националното дружество
"Екологично инженерство и опазване на
околната среда"*

Адрес:

*ул. "Акад. Г. Бончев", бл. 26
София 1113, Тел.: 979 36 14
Факс: 870 01 09*

Editorial board:

Prof. Alexander Alexandrov
Member of BAS
Prof. Alexander Sadovski
Member of IEAS
Prof. Alexander Tashyrev
(Ukraine)
Prof. Vladimir Lazarov
Prof. Vladimir Elisashvili
(Georgia)
Prof. Viacheslav Ilyin
(Russia)
Assoc. Prof. Danka Galabova
Assoc. Prof. Dencho Denchev
(Deputy editor)
Prof. Jordan Nikov
(France)
Assoc. Prof. Ivan Simeonov
(Editor)
Prof. Clemens Posten
(Germany)
Assoc. Prof. Ludmila Kabaivanova
Prof. Nesho Chipev
Assoc. Prof. Plamen Angelov
(Deputy editor)
Prof. Roumen Nedkov
Prof. Svetla Marinova
Assoc. Prof. Tonko Petkov
Prof. Hristo Najdenski
Corresponding member of BAS
Prof. Yana Topalova
(Deputy editor)

*Publication of the National Society
"Ecological Engineering and Environment
Protection"*

Address:

*Acad. G. Bonchev St., bl. 26
Sofia 1113, Tel.: (+359 2) 979 36 14
Fax: (+359 2) 870 01 09*

E-mail: ecoleng@abv.bg

[Http://www.ecoleng.org](http://www.ecoleng.org)

СЪДЪРЖАНИЕ

Редакционен коментар

И. Симеонов 3-4

I. ЧОВЕК И БИОСФЕРА

Разпознаване на явления в атмосферата по данни от MODIS

М. Димитрова 5-8

Моделиране на движението на подземните води в нееднородни почви в речните тераси

С. Борисов 9-15

Земното покритие като индикатор за оценка на природната среда за развитие на екотуризъм с използване на геоинформационни технологии

Е. Сарафова 16-21

Проучвания върху промените на рН-свойностите, редокс потенциала, свободния хлор и антимикробната активност на йонизиран воден разтвор (анолит) при различни условия на съхранение

М. Николова, Г. Глухчев, Ст. Караджов,
И. Христоскова, Н. Иванов 22-26

II. ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРЕЧИСТВАНЕ

Алгоритъм за приложение на комплексен препарат за биоаугментация при компостиране

И. Шнайдер, Н. Съйкова, Ц. Петрова,
К. Тодорова, А. Марков, Н. Савов,
Я. Топалова 27-34

Денитрификация с имобилизирани непречистени клетъчни екстракти

Ц. Първанова-Манчева, Е. Василева,
В. Бешков 35-39

Създаване и управление на пилотна инсталация за компостиране на растителни отпадъци

И. Шнайдер, А. Марков, И. Йотинов,
Н. Динова, Н. Савов, Я. Топалова 40-48

III. ВЕИ И БИОГОРИВА

Малки ветроенергийни преобразователни системи

И. Бачев 49-62

IV. ЛЕСОБИОЛОГИЯ

Растеж и преживяване на български популации от *Picea Abies* (L.) Karst. в стационарите Говедарци и Ясенково

Е. Недкова 63-70

V. БИАВТОМАТИКА И БИОИНФОРМАТИКА

Методологичен проблем на имитационното моделиране на агроecosystemите

А. Садовски 71-76

CONTENTS

Editor's comment

I. Simeonov 3-4

I. MAN AND BIOSPHERE

Recognition of phenomena in the atmosphere using data from MODIS

M. Dimitrova 5-8

Modeling groundwater flow in heterogeneous soils in river terraces

S. Borissov 9-15

Land cover as an indicator for environmental evaluation for ecotourism using GIS technologies

E. Sarafova 16-21

Investigation of the changes in pH, redox potencial, free chlorous and antimicrobial activity of ionized water (anolite) at different storage conditions

M. Nikolova, G. Gluhchev, S. Karadzhov,
I. Hristoskova, N. Ivanov 22-26*II. TECHNOLOGIES FOR DEPOLLUTION*

Algorithm for application of complex preparation for bioaugmentation of composting

I. Schneider, N. Saykova, Ts. Petrova,
K. Todorova, A. Markov, N. Savov,
Ya. Topalova 27-34

Denitrification by immobilized crude cell-free extracts

Ts. Parvanova-Mancheva, E. Vasileva,
V. Beschkov 35-39

Creation and management of a pilot plant for composting of garden wastes

I. Schneider, A. Markov, I. Yotinov,
N. Dinova, N. Savov, Ya. Topalova 40-48*III. RENEWABLE ENERGY AND BIOFUELS*

Small wind energy conversion systems

I. Bachev 49-62

*IV. FOREST BIOLOGY*Growth and survival of *Picea Abies* (L.) Karst. provenances in Govedarci and Iasenkovo experimental stations

E. Nedkova 63-70

V. BIOAUTOMATICS AND BIOINFORMATICS

Methodological problems in simulation of the agro-ecosystems

A. Sadovski 71-76

III. ВЕИ И БИОГОРИВА

МАЛКИ ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛНИ СИСТЕМИ

Иван Бачев

SMALL WIND ENERGY CONVERSION SYSTEMS

Ivan Bachev

Abstract: This paper presents a review of the contemporary small wind energy conversion systems (WECS). The different types of wind turbines are shown. A classification of the small WECS by the type of their electrical generator is made. The most typical topologies of power electronic converters, used in small WECS are also presented. The possibilities for building integration of small wind turbines are examined.

Keywords: wind generators, wind turbines, small wind energy conversion systems, WECS, power electronic converters.

1. УВОД

Според международния стандарт „IEC 61400-2 – Малки ветрогенератори“ вятърни генератори с ометена площ на ротора, по-малка от 200 m² се класифицират като „малки“ [1]. Друго изискване е стойността на генерираното напрежение да бъде по-ниска от 1000 VAC или от 1500 VDC. Като допълнение към дефиницията за малки ветрогенератори (МВГ) авторите на [2] от Световната Асоциация за Вятърна Енергия (WWEA) предлагат като такива да бъдат разглеждани ветрогенератори, чиято електрическа мощност е по-малка от 100 kW.

В световен мащаб най-голям е броят на маломощните ветроенергийни преобразователни системи (ВЕПС) за приложения в отдалечени от електрическата мрежа места, като над 80% от

производителите на малки ВЕПС предлагат автономни решения. В Китай, например, над 97% от МВГ са автономни [2]. Друго възможно приложение на маломощни ВЕПС е употребата им в хибридни микро мрежи, съвместно с фотоволтаични панели, конвенционални генератори и акумулиращи устройства [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Възможно е вграждането на малки ВЕПС в сгради, което да помогне за намаляване на разходите за електроенергия, както и за образователна цел [9], [10], [11], [12].

През последните години се наблюдава устойчиво увеличаване на броя на инсталираните малки ветрогенератори в световен мащаб, като през 2014 г. техният брой е достигнал близо 1 милион (Фиг.1), докато общата инсталирана мощност на МВГ е над 830 MW(Фиг.2) [2].



Фиг.1. Брой на инсталираните МВГ [2].



Фиг.2. Обща инсталирана мощност на МВГ в световен мащаб [2].

Средната мощност на инсталираните МВГ се увеличава, като тя е достигнала до 0,87 kW за 2014 година [2]. Цените за един киловат

инсталирана мощност са от порядъка на 3000-6000 долара в САЩ [13], от 500 до 2500 Евро в Европа [14] и около 1500-3000 долара в Китай, в

зависимост от размера, качеството и надеждността на инсталацията [13]. За сравнение, цената на големите ветрогенератори е от порядъка от 400 хил. до 1 милион Евро за един мегават инсталирана мощност [15], което се

равнява на стойности около 400 – 1000 Евро за киловат. Различните компоненти, участващи във формирането на крайната цена на МВГ, са представени на Фиг. 3 [16].



Фиг.3. Компоненти, участващи в крайната цена на МВГ в селски райони и градска среда [16]

2. КЛАСИФИКАЦИЯ НА МАЛОМОЩНИТЕ ВЕПС

Ветроенергийните преобразователни системи могат да бъдат класифицирани по няколко признака:

- според разположението на оста на въртене на турбината;
- според използвания електрически генератор;
- според използваните видове силови електронни преобразователи.

А. Класификация според разположението на оста на въртене на турбината

Според оста си на въртене вятърните турбини (ВТ) могат да бъдат разделени на:

- ВТ с хоризонтална ос на въртене;
- ВТ с вертикална ос на въртене.

През 2011г. 74% от производителите на МВГ са предлагали турбини с хоризонтална ос на въртене – Фиг. 4 [13].



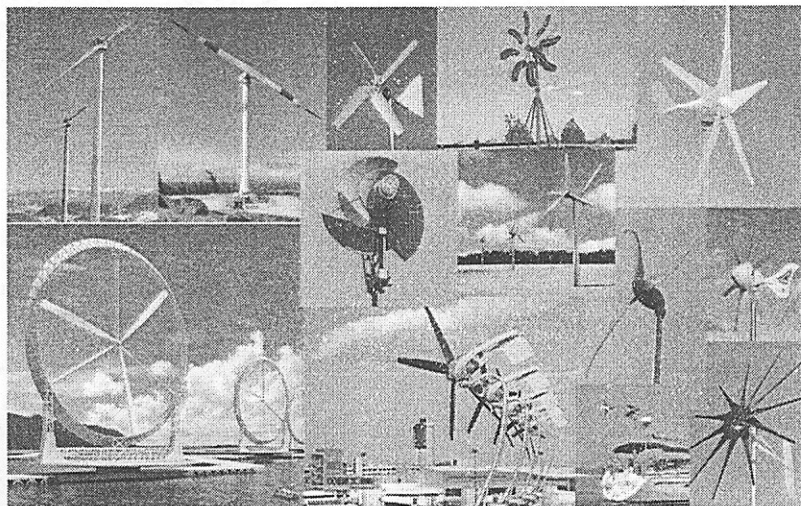
Фиг.4. Производители на МВГ за 2011 година [13].

Турбините с хоризонтална ос са много добре проучени поради широката им употреба в големи ВЕПС. За разлика от големите ВЕПС, където е утвърдена конфигурация на турбината с три лопати, в малките ВЕПС се използват и едно-, дву-, три- и многолопатъчни конструкции (Фиг.

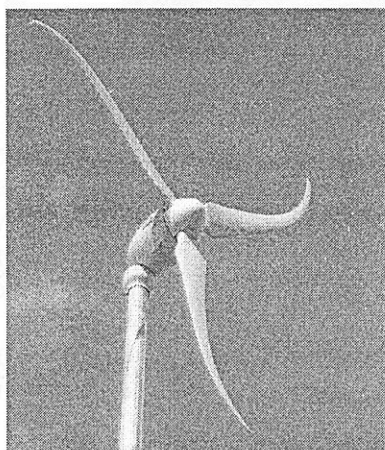
5). Предимства на едно- и двулопатъчните конструкции са намаленият брой на лопатките и сравнително високата скорост на въртене на турбината. Като техен недостатък може да се посочи умората на материала и нуждата от високи скорости на вятъра. Многолопатъчните

конструкции от своя страна се развъртат при ниски скорости на вятъра, като развиват голям момент, но почти не намират приложение при ветрогенераторите. Като компромисен вариант,

също както и при големите ветрогенератори, се използват трилопатъчни конструкции, които съчетават предимствата на другите видове турбини [17].



Фиг.5. Малки турбини с хоризонтална ос на въртене.



Фиг.6. Турбина по вятъра.



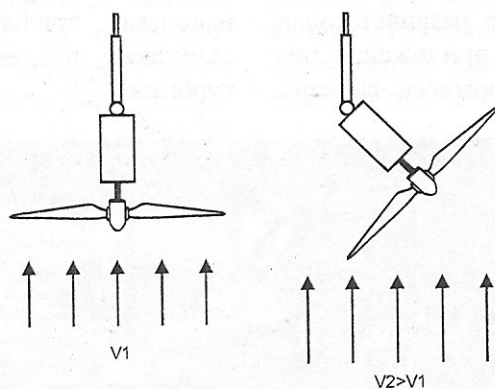
Фиг.7. Турбина срещу вятъра.

Турбините с хоризонтална ос на въртене могат да бъдат по вятъра – Фиг. 6 и срещу вятъра – Фиг. 7.

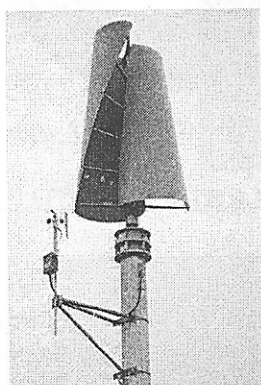
Малките турбини по вятъра се насочват сами, докато турбините срещу вятъра използват пасивен насочващ опашен елемент. Пасивното насочване на турбините с хоризонтална ос представлява проблем при високи скорости на вятъра, които могат да доведат до механични повреди и разрушаване на лопатите на турбината. За да се реши този проблем, както и за да се ограничи мощността на ветрогенератора при скорости на вятъра над номиналната, се използват методи за изместване на турбината в

страни от основната посока на вятъра – т. нар. furling (Фиг. 8.) [18], [19], [20]. Това изместване спомага за намаляване на ометената площ на турбината, като по този начин се намалява преобразуваната от вятъра мощност и съответно и скоростта на въртене.

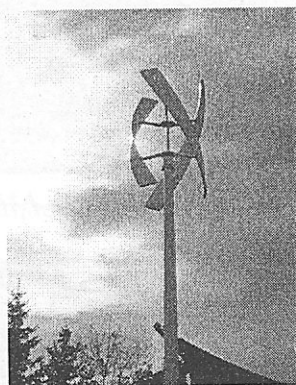
Другият вид вятърни турбини са тези с вертикална ос на въртене. Те се разделят на турбини тип Савониус с плътни лопатки – Фиг. 9 и тип Дариус – Фиг. 10. В литературата се срещат и опити за комбинирането на двата типа турбини с вертикална ос – фиг. 11 [21], [22], [23], [24].



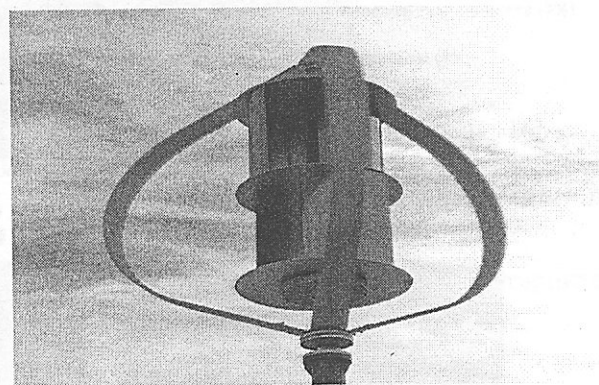
Фиг.8. Изместване на ветрогенератора с увеличаване на скоростта на вятъра (furling) [20].



Фиг.9. Турбина тип Савониус.



Фиг.10. Турбина тип Дариус.



Фиг.11. Хибридна турбина [23].

В съвременните ВЕПС се използват главно турбини с хоризонтална ос на въртене, което е довело до значително изоставане на изследванията върху турбините с вертикална ос. Турбините с вертикална ос могат да бъдат конкурентни на турбините с хоризонтална ос, стига да бъдат вложени достатъчно време и средства за изследването им и подобряване на тяхната ефективност [25].

Основно предимство на турбините с вертикална ос спрямо тези с хоризонтална ос е премахването на нуждата от насочващи елементи, тъй като те могат да работят независимо от посоката на вятъра [26]. От своя страна това създава известни проблеми с развъртането на турбината, понеже не винаги ъгълът, под който вятърът се сцепва с турбината, е оптимален [27]. Друго предимство е възможността за поставянето на електрически генератор и силовите електронни преобразуватели в основата на вятърната турбина, което намалява теглото ѝ, като позволява използването на по-леки носещи

елементи, водейки до намаляване на крайната цена и улесняване на поддръжката [25].

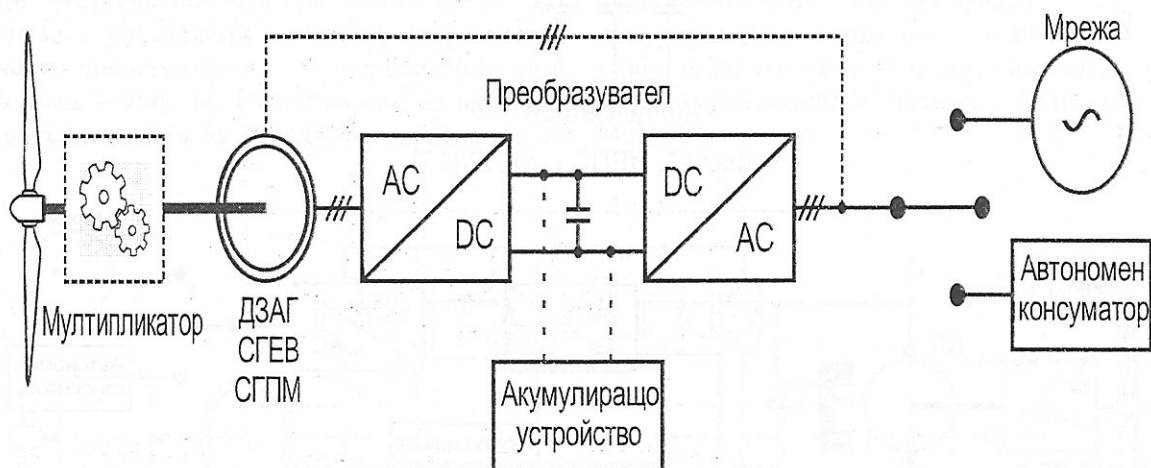
Б. Класификация според използвания електрически генератор

Предназначението на ВЕПС е да преобразуват кинетичната енергия на вятъра в електрическа енергия. Това става с използването на различни видове електрически генератори. Предаването на енергията от турбината към вала на електрическия генератор става директно или с помощта на мултипликатор, в зависимост от вида на избрания генератор. Използването на силови електронни преобразуватели във ВЕПС позволява работата на системата с променлива скорост, но води до усложняване и оскъпяване [28], [29], [30].

В последните години най-често използваните генератори в малките ВЕПС са синхронни генератори с постоянни магнити (СПМ) [30], [31], [32]. Основно предимство на СПМ е замената на възбудителната намотка на машината с постоянни магнити, което води до премахване на четковия апарат и контактните пръстени. По този начин се намалява нуждата от

поддръжка и се увеличава надеждността на системата [30]. Също така се използват и синхронни генератори с електромагнитно възбуждане (СГЕВ) [33], [34], двойно-захранени асинхронни генератори (ДЗАГ) [33], [34], [35], асинхронни генератори с кафезен (накъсо-съединен) ротор (АГКР) [33], [34], [36] както и постояннотокови генератори [34], [37], [38].

На Фиг. 12 е представена обобщена схема на ВЕПС, използваща СГЕВ, СГПМ или ДЗАГ. Възможно е и използването на акумулиращи устройства, които да осигуряват енергия на потребителя в периоди, в които наличната енергия от вятъра не е достатъчна [39].



Фиг.12. Обобщена схема на малки ВЕПС.

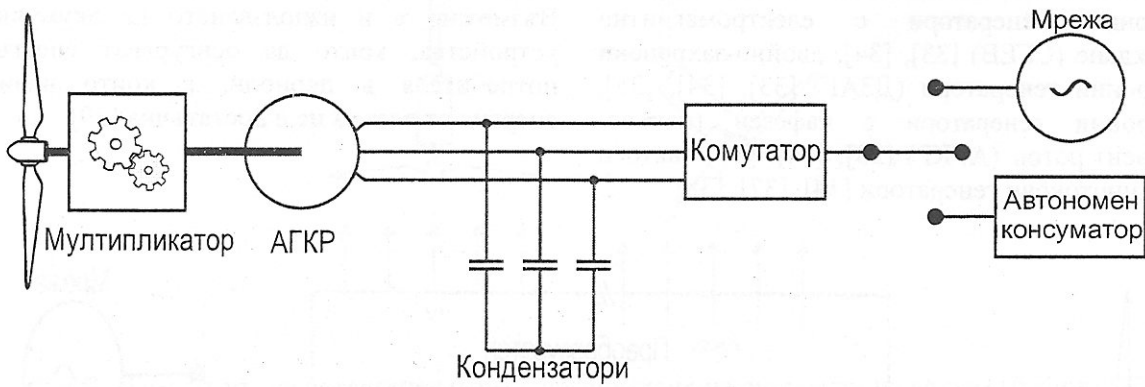
Системите, използващи синхронни генератори, могат да бъдат задвижвани директно или чрез мултипликатор. При тях произведената от електрическия генератор енергия се преобразува в постояннотокова, след което се преобразува отново в променливотокова, така че да се задоволят нуждите на консуматора или електрическата мрежа, в която са свързани. Трябва да се има предвид, че силовите електронни преобразуватели при тези системи трябва да бъдат оразмерени за пълната мощност на генератора.

При системите с ДЗАГ мултипликаторът е задължителен елемент, поради необходимостта от високи скорости на въртене на ротора. При тях статорът на генератора е директно свързан към консуматора или към електрическата мрежа, а силовите електронни преобразуватели, позволяващи работата на системата с променлива скорост на въртене ($\pm 30\%$ от синхронната скорост), са свързани към ротора на машината. На Фиг. 12 с пунктир е означено свързването на статора на ДЗАГ към мрежата или консуматора. Предимство на системите, използващи ДЗАГ, спрямо системите със синхронни генератори е намалената мощност на преобразувателите – до 30% от мощността на

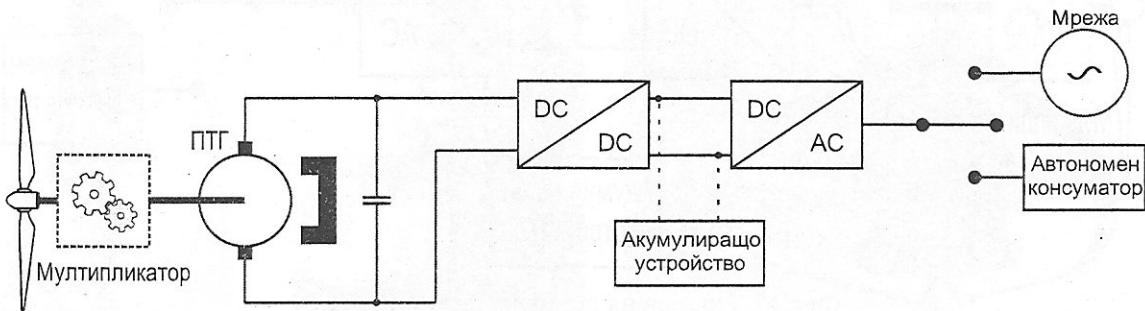
генератора. Това води до по-ниска цена на системата в сравнение със системите, използващи синхронни генератори.

При системите с АГКР – Фиг. 13, както и при системите с ДЗАГ, мултипликаторът е задължителен елемент, тъй като те работят с фиксирана скорост на въртене, а генераторът е високоскоростен (1000-3000 rpm). АГКР се свързват директно към електрическата мрежа или към автономен консуматор. При свързването им към електрическата мрежа е добре да се предвидят кондензаторни батерии, които да компенсират консумираната от мрежата реактивна енергия. При автономна работа на системата с АГКР кондензаторите са задължителен елемент. Трябва да се има предвид, че тези системи се срещат все по-рядко, поради невъзможността за следене на точката на максимална мощност на вятърната турбина, което води до по-лоша ефективност в сравнение с другите изброени до момента системи.

ВЕПС, използващи постояннотокови генератори, са представени с обобщена схема на фиг. 14. Трябва да се има предвид, че подобни системи не намират широко приложение при ВЕПС поради наличието на четково-колекторен възел.



Фиг.13. ВЕПС с АГКР [17].

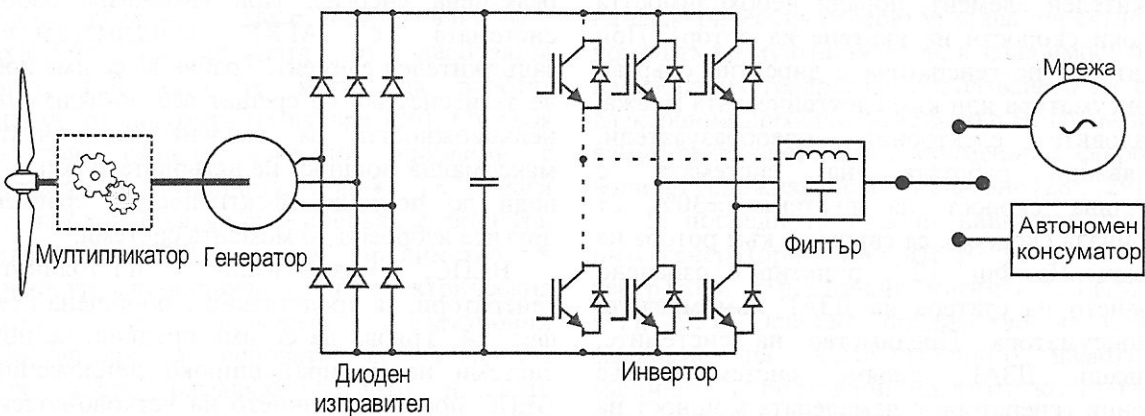


Фиг.14. ВЕПС с постояннотоков генератор [34].\

В. Класификация на малките ВЕПС според вида на използваните силови електронни преобразуватели

Конфигурациите на малките ВЕПС принципно не се различават от тези, използвани при големите системи. Тук са показани някои от най-често срещаните в литературата схеми на силови електронни преобразуватели, използвани в маломощни ВЕПС. Системите с променлива скорост на въртене, като тези, показани на Фиг. 12, се нуждаят от токоизправители, последвани от

постояннотоков кръг и инвертор, който да адаптира произведената електрическа енергия към нуждите на товара. Изправителите могат да бъдат както неуправляеми, така и управляеми. Неуправляемите изправители (Фиг. 15) използват обикновени диоди, което спомага за намаляването на цената на системата и опростяването на нейното управление. Инверторите при тези системи могат да бъдат както еднофазни, така и трифазни, което на фигурите по-долу е показано с пунктир.

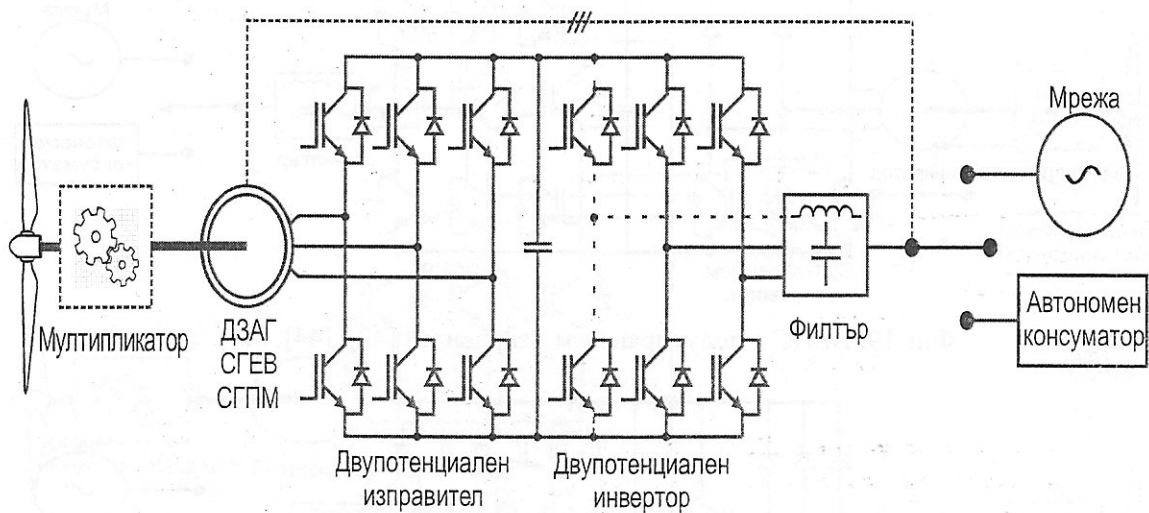


Фиг.15. ВЕПС с неуправляем изправител [42].

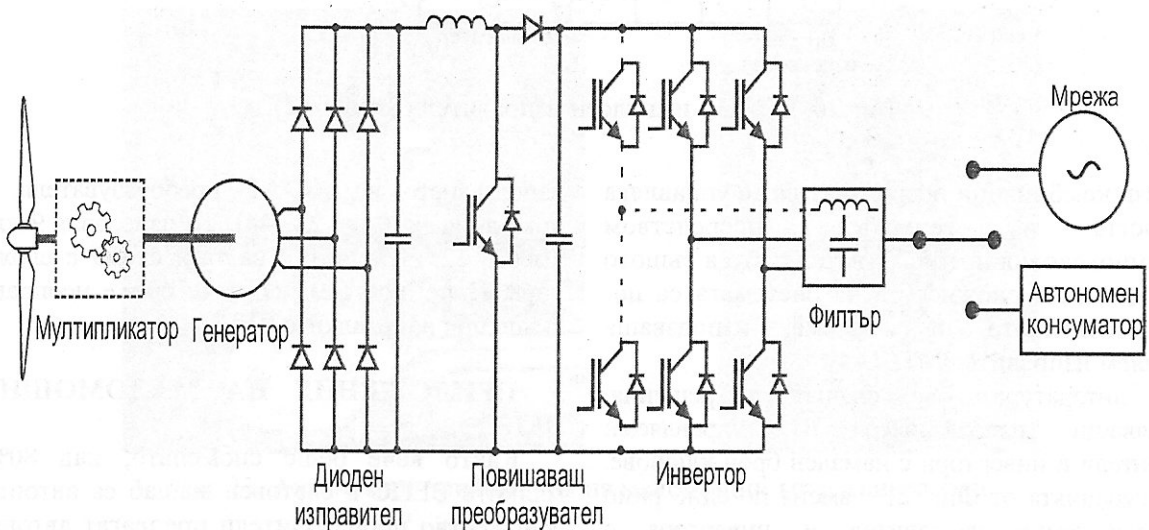
Опростеното управление от своя страна води до намаляване на производителността на системата. Това се дължи на невъзможността за следване на точката на максимална мощност на ветрогенератора при различните скорости на вятъра [40], [41], както и влошения хармоничен състав на тока и напрежението на генератора, причинен от неуправляемите полупроводникови ключове [42]. Поради тази причина се използват и системи с управляеми (активни) изправители (най-често преобразуватели на напрежение) тип back-to-back – Фиг. 16. Използването на активни изправители помага за гъвкавото управление и

увеличава производителността, но оскъпява и усложнява системата [43].

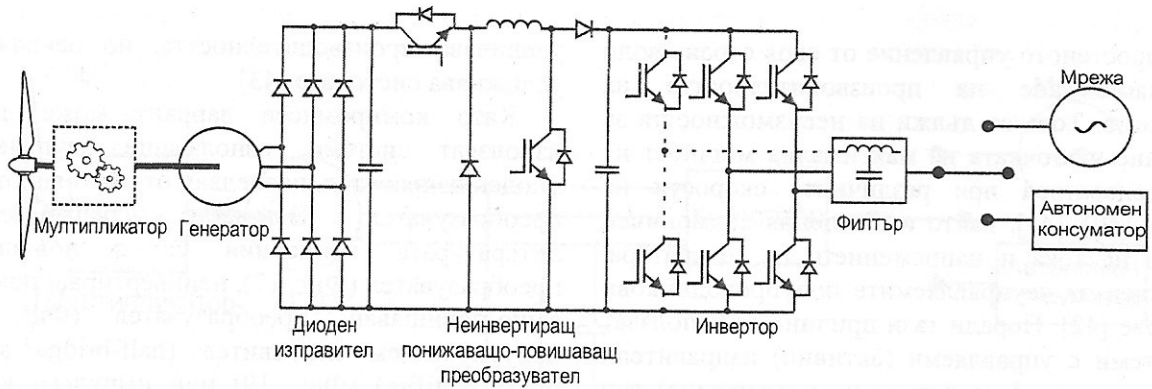
Като компромисен вариант може да се използват системи, използващи неуправляем диоден изправител, последван от постояннотоков преобразувател. Най-често срещаните в литературата концепции са с повишаващ преобразувател (Фиг. 17), неинвертиращ понижаващо-повишаващ преобразувател (Фиг. 18), полууправляем изправител (half-bridge switch mode rectifier) (Фиг. 19) или импулсен изправител (switched-mode rectifier - SMR) (Фиг. 20) [42], [44].



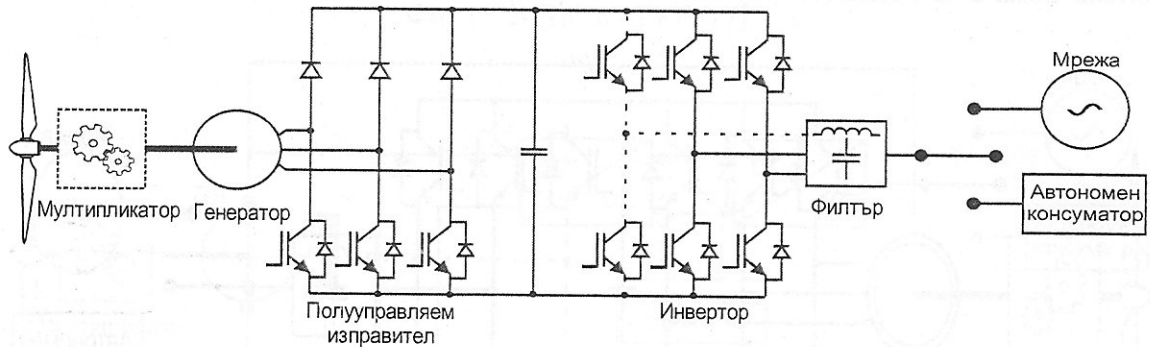
Фиг.16. ВЕПС с преобразуватели тип back-to-back [17].



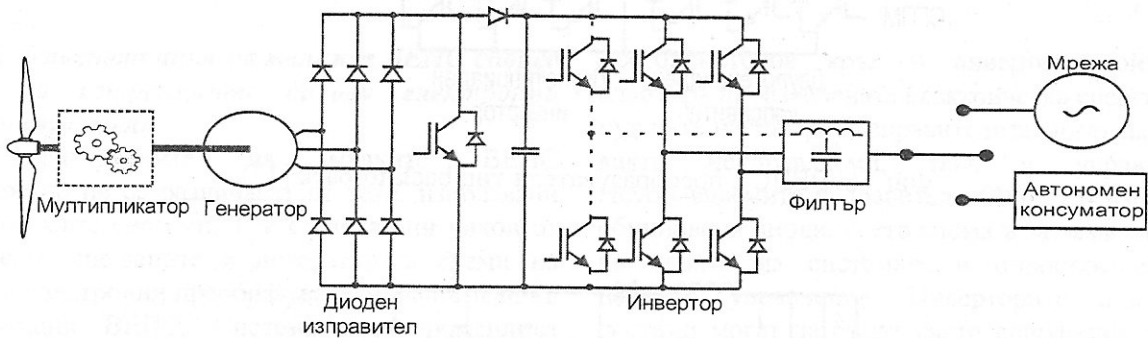
Фиг.17. ВЕПС с повишаващ преобразувател [44].



Фиг.18. ВЕПС с неинвертиращ понижаващо-повишаващ преобразувател.



Фиг.19. ВЕПС с полууправляем изправител [42], [44], [45].



Фиг.20. ВЕПС с импулсен изправител (SMR) [42].

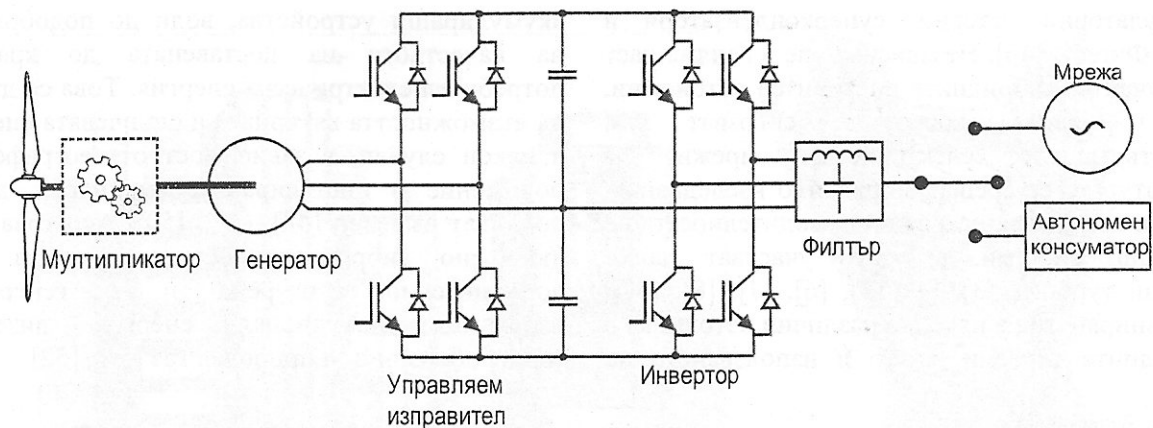
Тези комбинации позволяват да се управлява мощността на генератора посредством постояннотоковия преобразувател, като в същото време цената и сложността на системата са пониски, отколкото на система, използваща управляем изправител [42], [44].

В литературата се срещат и решения, позволяващи използването на управляеми изправители и инвертори с намален брой ключове. Конфигурацията от Фиг. 21 заменя по едно рамо от управляемия изправител и инвертора с кондензатори [44]. По този начин се постига намаляване на цената и загубите от превключване, увеличавайки производителността. Възможно е и

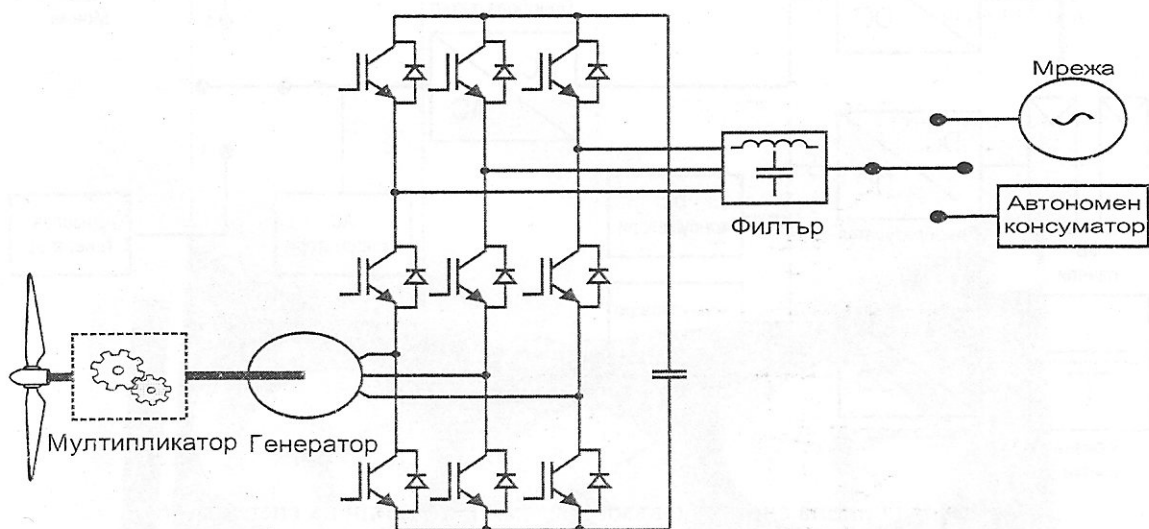
използването на AC-AC преобразуватели, като показания на Фиг. 22 [44]. Те използват 9 ключа, вместо 12. Недостатък на тази схема е сложното управление, което може да се окаже неоправдано скъпо при най-малките ВЕПС.

3. ПРИЛОЖЕНИЕ НА МАЛОМОЩНИТЕ ВЕПС

Както вече беше споменато, над 80% от малките ВЕПС в световен мащаб са автономни. Множество производители предлагат автономни ветрогенератори за използване в лодки, каравани, телекомуникационни кули и др. – Фиг. 23.



Фиг.21. ВЕПС с управляем изправител и инвертор и намален брой ключове [44].



Фиг.22. ВЕПС с АС-АС преобразувател с 9 ключа [44].

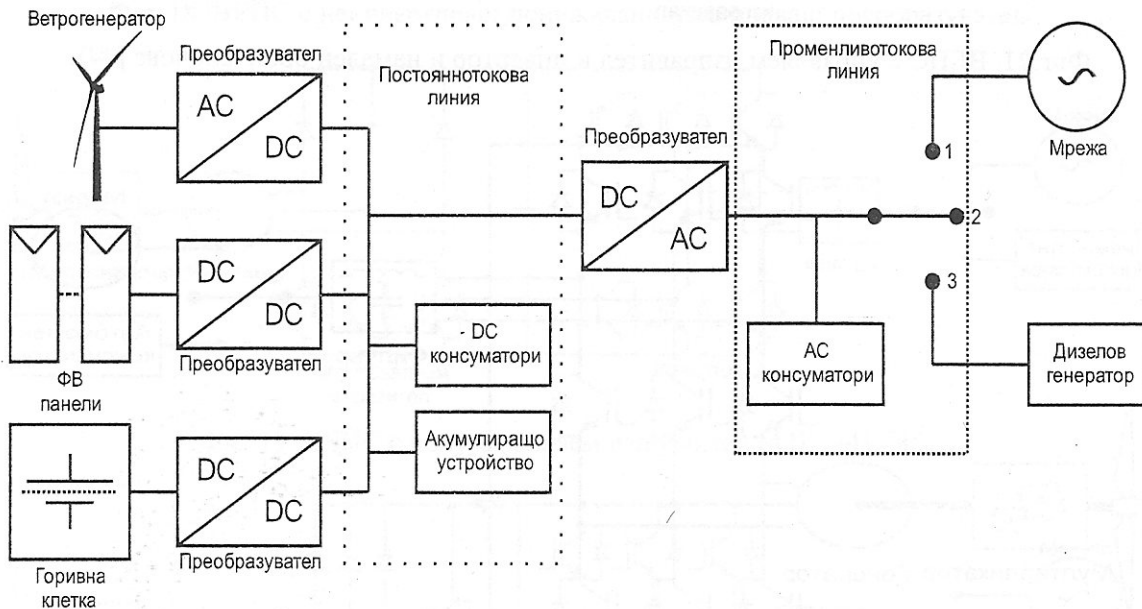


Фиг.23. Автономни приложения на маломощни ветрогенератори.

Друго приложение на малките вятърни турбини е тяхното използване в хибридни системи съвместно с фотоволтаични панели, конвенционални генератори (дизелови генератори, микро газови турбини и др.), горивни клетки и акумулиращи устройства

(акумулаторни батерии, суперкондензатори и др.) – Фиг. 24 [46]. Независимо, че в голяма част от случаите, хибридните системи са автономни, има и такива, които се свързват към съществуващите електрически мрежи. В литературата се срещат множество изследвания, целящи подобряването на производителността на хибридни системи, в които участват малки вятърни турбини [3], [4], [5], [6], [7], [8], [47]. Комбинирането на няколко различни източника в хибридните системи, както и използването на

акумулиращи устройства, води до подобряване на качеството на доставената до крайния потребител електрическа енергия. Това се дължи на възможността вятърната и слънчевата енергия в някои случаи, в зависимост от географското положение и инсталираните мощности, да се допълват взаимно [48], [49], [50]. Ако това не е възможно, хибридната система може да бъде допълнително осигурена и с генератор, използващ конвенционална енергия – дизелово гориво, бензин или природен газ [51], [52].



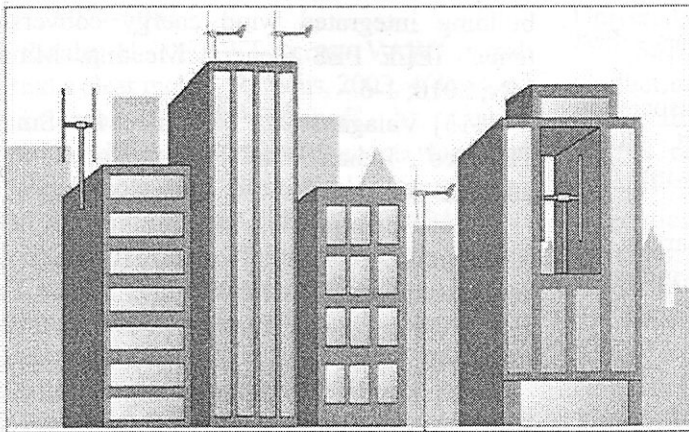
Фиг.24. Хибридна система с възобновяеми източници на енергия [46].

Друго възможно приложение на малките вятърни турбини е тяхното интегриране в градска среда [53], [54], [55], [56]. Известно е, че въздушните течения в градска среда не винаги са подходящи за инсталиране на ветрогенератори, поради наличието на турбулентност и намалената скорост на вятъра [55]. Въпреки това, в някои случаи застроените площи създават благоприятни условия за инсталиране на вятърни генератори. Като пример могат да бъдат посочени т. нар. „вятърни тунели“, които се образуват по улици, оградени от високи сгради [57], [58], [59]. Сградите концентрират вятъра и по този начин спомагат за увеличаването на неговата скорост, а както е известно мощността на вятъра зависи от третата степен на скоростта му [60].

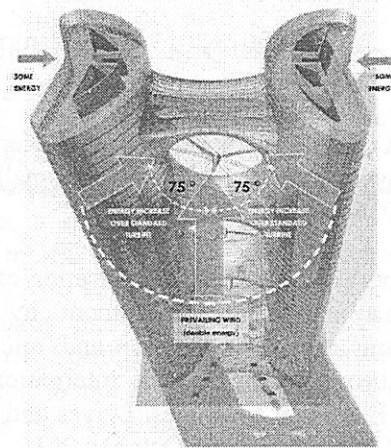
Освен, че създават условия за „вятърни тунели“, високите сгради предоставят възможност за инсталиране на ветрогенератори. Тъй

като скоростта на вятъра се увеличава с нарастване на височината, инсталирането на МВГ на покрива на сграда, по-висока от околните ѝ сгради, или вграждането на ветрогенератора в конструкцията на сградата, би създавало благоприятни условия за производство на електрическа енергия [55]. В литературата се срещат концепции за проектиране на сгради, в които се предвижда вграждането на ВГ – Фиг. 25 и Фиг. 26 [55], [61].

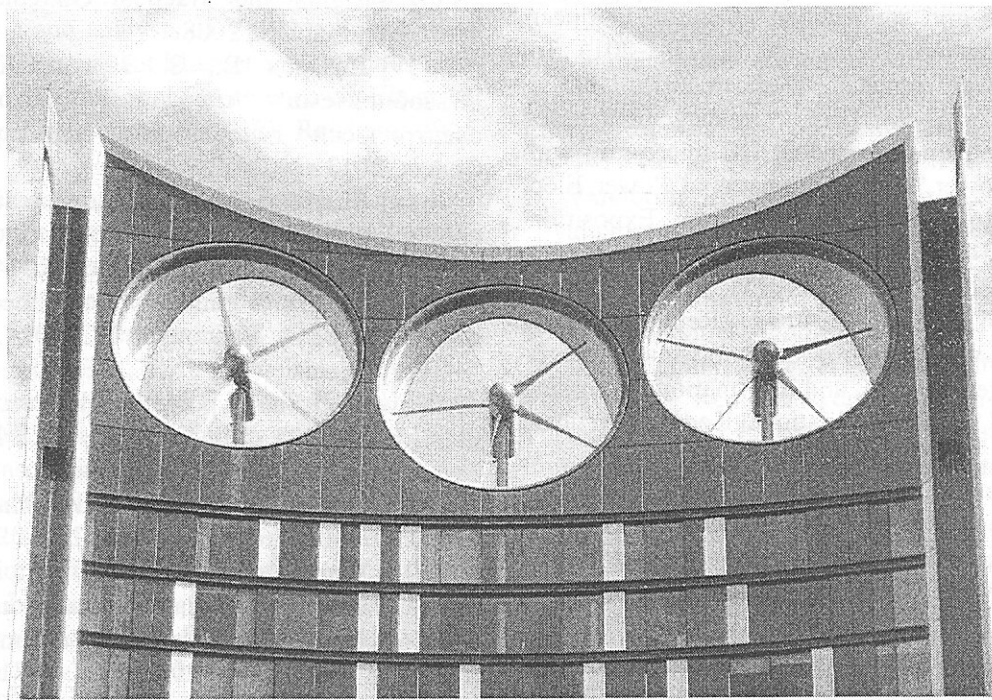
Добър пример за такава сграда е STRATA SE1 в Лондон – Фиг. 27. Сградата е с височина от 148m, като всеки от трите ветрогенератора, поставени на покрива, е с мощност 19 kW. Според конструкторите на сградата трите ветрогенератора трябва да произведат 50 MWh на година, което би трябвало да покрие 8% от консумираната електрическа енергия в сградата [62].



Фиг.25. Малки ВЕПС, интегрирани в сгради [61].



Фиг.26. Концептуална сграда [55].



Фиг.27. STRATA SE1 в Лондон.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията е направен литературен обзор на съвременното състояние на малките ветроенергийни преобразователни системи. Разгледани са различните концепции на предлаганите от производителите вятърни генератори. Класифицирани са най-често срещаните конфигурации на малки ВЕПС според вида на използваните в тях електрически генератори. Представени са и най-популярните

топологии на силови електронни преобразователи, използвани в маломощните ВЕПС и в хибридните системи. Разгледани са някои възможности за интегрирането на малки ветрогенератори в сгради и в градска среда.

Благодарности: Авторът благодари за подкрепата по договор № 162ПД0010-01 за научен проект в помощ на докторант от Вътрешния конкурс на ТУ-София - 2016г.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] IEC-61400-2:2013, "Wind turbines - Part 2: Small wind turbines".
- [2] World Wind Energy Association (WWEA), Small Wind World Report, 2016, http://www.wwindea.org/download/small_wind/S_WWR2016-SUMMARYR_2.pdf
- [3] Kanchev, H., B. François, Z. Zarkov, L. Stoyanov, V. Lazarov, "Compensation of wind power fluctuations in an autonomous hybrid system comprising a wind generator and micro gas turbines", Proceedings of 14th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2015, 1-3 October 2015, Varna Bulgaria, 131-138, ISSN 1313-4965
- [4] Tamalouzt S., N. Benyahia, T. Rekioua, R. Abdessemed, "A Doubly Fed induction generator wind turbine and fuel cell hybrid power sources system for micro-grid applications," Control, Engineering & Information Technology (CEIT), 2015 3rd International Conference on, Tlemcen, 2015, 1-6.
- [5] Qi Z., Z. Li, "Energy management based on multi-agent for independent DC micro-grid with wind solar power," 2014 International Power Electronics and Application Conference and Exposition, Shanghai, 2014, 1226-1229.
- [6] Dawoud S. M., X. Lin, J. Sun, Q. K. Mohsin, F. M. F. Flaih, P. Long, "Reliability study of hybrid PV-wind power systems to isolated micro-grid," Intelligent Control and Information Processing (ICICIP), 2015 Sixth International Conf. on, Wuhan, 2015, 431-437.
- [7] Guanglin C. et al., "Research on simulations and model of the isolated Wind-Solar-Diesel-Battery hybrid micro-grid," Electricity Distribution (CICED), 2012 China International Conf. on, Shanghai, 2012, 1-4.
- [8] Saiyi W., G. Chenfang, H. Yueshen, "The typical network scheme of micro-grid based distributed wind-solar-storage systems," 2016 China International Conf. on Electricity Distribution (CICED), Xi'an, 2016, 1-8.
- [9] Bošnjaković M., "Wind power buildings integration", Journal of Mechanics Engineering and Automation 3, 2013, 221-226.
- [10] Park J., H.-J. Jung, S.-W. Lee, J. Park, "A New Building-Integrated Wind Turbine System Utilizing the Building," Energies, vol. 8, no. 10, Oct. 2015, 11846-11870.
- [11] Banks, D., B. Cochran, R. Denoon, G. Wood, "Harvesting wind power from tall buildings." Proc. of the CTBUH 8th World Congress, Dubai, United Arab Emirates, March 3-5, 2008; 320-327
- [12] Salameh Z., C. V. Nandu, "Overview of building integrated wind energy conversion systems," IEEE PES General Meeting, Minneapolis, MN, 2010, 1-6.
- [13] Valagam D., "Roadmap for Small Wind Turbines", Indian Wind Power, Vol. 1, Apr.-May, 2015, 28-32.
- [14] Bortolini M., M. Gamberi, A. Graziani, R. Manzini, F. Pilati, "Performance and viability analysis of small wind turbines in the European Union", Renewable Energy, Vol. 62, Feb. 2014, 629-639.
- [15] Smith P., "Unmasking turbine prices", Wind Power Monthly, Jan. 2014, Online, accessed on 09.11.2016. <http://www.windpowermonthly.com/article/1228426/unmasking-turbine-prices>
- [16] Carbon Trust, "Small-scale Wind Energy: Policy Insights and Practical Guidance", Carbon Trust, London, UK, 2008.
- [17] Лазаров В., З. Зарков, Л. Стоянов, „Възобновяеми енергийни източници и електрически генератори“, Авангард Прима, София, 2013.
- [18] Shariatpanah H., R. Fadaeinedjad, G. Moschopoulos, "An investigation of furl control in a direct-drive PMSG wind turbine," 2014 IEEE 36th International Telecommunications Energy Conference (INTELEC), Vancouver, BC, 2014, 1-8.
- [19] Bialasiewicz J. T., "Furling control for small wind turbine power regulation," Industrial Electronics, 2003. ISIE '03. 2003 IEEE International Symposium on, 2003, vol. 2, 804-809.
- [20] Davis D., "Furling wind turbine", U.S. Patent US20060153672 A1, Jul 13, 2006
- [21] Tummala A., R. K. Velamati, D. K. Sinha, V. Indraja, V. H. Krishna, "A review on small scale wind turbines", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 56, Apr. 2016, 1351-1371.
- [22] Kou W., X. Shi, B. Yuan, L. Fan, "Modeling analysis and experimental research on a combined-type vertical axis wind turbine," Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011 International Conference on, Zhejiang, 2011, 1537-1541.
- [23] Chawla S., A. Chauhan, S. Bala, "Parametric study of hybrid Savonius-Darrieus turbine," 2015 2-nd International Conference on Recent Advances in Engineering & Computational Sciences (RAECS), Chandigarh, 2015, 1-5.
- [24] Chang L. J., U. K. Hsu, M. Miao, H. M. Hui, C. H. Tai, "Numerical studies of the flowfield over a hybrid VAWT with different torque," Consumer Electronics, Communications and Networks

(CECNet), 2011 International Conference on, Xian-Ning, 2011, 5077-5081.

[25] Riegler H., "HAWT versus VAWT: small VAWTs find a clear niche", *Refocus*, 2003, 4(4):44-6.

[26] Eriksson S., H. Bernhoff, M. Leijon, "Evaluation of different turbine concepts for wind power", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 12, Issue 5, June 2008, 1419-1434.

[27] Batista N. C., R. Melicio, J. C. O. Matias, J. P. S. Catalão, "New blade profile for Darrieus wind turbines capable to self-start", *Renewable Power Generation (RPG 2011)*, IET Conf. on, Edinburgh, 2011, 1-5.

[28] Reis M. M. et al., "A variable speed wind energy conversion system connected to the grid for small wind generator," *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2008. APEC 2008. Twenty-Third Annual IEEE*, Austin, TX, 2008, 751-755.

[29] Tasneem Z., M. R. I. Sheikh, "Comprehensive modeling and analysis of Variable Speed Wind Turbine using Permanent Magnet Synchronous Generator," *2015 International Conference on Electrical & Electronic Engineering (ICEEE)*, Rajshahi, 2015, 133-136.

[30] Kumar A. V. P., A. M. Parimi, K. U. Rao, "Investigation of small PMSG based wind turbine for variable wind speed," *Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering (RDCAPE)*, 2015 International Conference on, Noida, 2015, 107-112.

[31] Orlando N. A., M. Liserre, R. A. Mastromauro, A. Dell'Aquila, "A Survey of Control Issues in PMSG-Based Small Wind-Turbine Systems," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 9, no. 3, Aug. 2013, 1211-1221.

[32] Badreddine L., S. Zouggar, M. L. Elhafyani, F. Z. Kadda, "Experimental modeling and control of a small wind PMSG turbine," *2014 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, Ouarzazate, 2014, 802-807.

[33] Mohammad S. N., N. K. Das, S. Roy, "A review of the state of the art of generators and power electronics for wind energy conversion systems," *Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET)*, 2014 3rd International Conference on the, Dhaka, Bangladesh, 2014, 1-6.

[34] Cao W., Y. Xie, Z. Tan, "Chapter 7 - Wind Turbine Generator Technologies", In: *Advances in Wind Power*, InTech, 2012, 177-204.

[35] Lazarov, V., G. Notton, L. Stoyanov, Z. Zarkov, "Modeling of Doubly Fed Induction Generator with Rotor-side Converter for Wind Energy Con-

version Application", *Proceedings of the Technical University – Sofia*, vol. 60, book 1, 2010, 289-298.

[36] Simões M. G., S. Chakraborty, R. Wood, "Induction generators for small wind energy systems," *IEEE Power Electronics Society Newsletter*, vol. 18, no. 3, 2006, 19-23.

[37] Suzuki T., H. Okitsu, T. Kawahito, "Characteristics of a small wind-power system with dc generator," in *IEE Proceedings B - Electric Power Applications*, vol. 129, no. 4, July 1982, 217-220.

[38] Zhang Z., Y. Yan, Y. Tao, "A New Topology of Low Speed Doubly Salient Brushless DC Generator for Wind Power Generation," in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 48, no. 3, March 2012, 1227-1233.

[39] Mohod S. W., M. V. Aware, "Micro Wind Power Generator With Battery Energy Storage for Critical Load," in *IEEE Systems Journal*, vol. 6, no. 1, March 2012, 118-125.

[40] Kumar D., K. Chatterjee, "A review of conventional and advanced MPPT algorithms for wind energy systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 55, March 2016, 957-970.

[41] Gevaert L. F. M., J. D. M. De Kooning, T. L. Vandoorn, J. Van de Vyver, L. Vandeveldel, "Evaluation of the MPPT performance in small wind turbines by estimating the tip-speed ratio," *Power Engineering Conference (UPEC)*, 2013 48th International Universities', Dublin, 2013, 1-5.

[42] Buchert K., F. W. Fuchs, "Power Losses of Three Phase Rectifier Topologies in Small Wind Turbines," *PCIM Europe 2015; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*; Proceedings of, Nuremberg, Germany, 2015, 1-8.

[43] Malinowski M., A. Milczarek, R. Kot, Z. Goryca, J. T. Szuster, "Optimized Energy-Conversion Systems for Small Wind Turbines: Renewable energy sources in modern distributed power generation systems," in *IEEE Power Electronics Magazine*, vol. 2, no. 3, Sept. 2015, 16-30.

[44] Du Y., A. K. S. Bhat, "Power Converter Schemes for Small Scale Wind Energy Conversion Systems - Review, a Systematic Classification Based on Isolation Transformer and Generator Side Rectifier", *2016 Second International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT)*, Ghaziabad, 2016, pp. 338-344.

[45] Tang S. C., D. M. Otten, T. A. Keim, D. J. Perreault, "Design and Evaluation of a 42-V Automotive Alternator With Integrated Switched-Mode

Rectifier," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 25, no. 4, Dec. 2010, 983-992.

[46] Steca elektronik gmbH, "PV off-grid catalogue", Online, accessed on 09.11.2016 - http://www.rfiwireless.com.au/media/PDFs/Steca_PV_off_grid_EN.pdf

[47] Gonzalez-Espin F., N. Chang, V. Valdivia-Guerrero, R. Foley, "Configuration, modelling and control of a microgrid for commercial buildings application," Power Electronics and Applications (EPE), 2013 15th European Conference on, Lille, 2013, 1-10.

[48] Wirth H., "Recent Facts about Photovoltaics in Germany", Fraunhofer ISE, Apr. 2016, Online, accessed on 08.11.2016 - <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf>

[49] Grubcek, P., et al., "Complementary Regimes of Solar and Wind Energy in Serbia", Geographica Panonica, 10, 2006, 22-25.

[50] Stoyanov L., G. Notton, V. Lazarov, M. Ezzat, "Wind and solar energies production complementarity for various Bulgarian sites", Revue des Energies Renouvelables SMEE'10, 2010, 311-325.

[51] Singh S., M. Singh, S. Chanana, D. Raveendhra, "Operation and control of a hybrid wind-diesel-battery energy system connected to micro-grid," Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE), 2013 International Conference on, Jabalpur, 2013, 1-6.

[52] Guanglin C. et al., "Research on simulations and model of the isolated Wind-Solar-Diesel-Battery hybrid micro-grid," Electricity Distribution (CICED), 2012 China International Conf. on, Shanghai, 2012, 1-4.

[53] Sari D. P., W. B. Kusumaningrum, "A Technical Review of Building Integrated Wind Turbine System and a Sample Simulation Model in

Central Java, Indonesia", Energy Procedia, Vol. 47, 2014, 29-36.

[54] Smith J., T. Forsyth, K. Sinclair, F. Oteri, "Built-Environment Wind Turbine Roadmap", NREL Technical Report, Nov. 2012.

[55] Stankovic S., N. Campbell, A. Harries, "Urban wind energy", Earthscan, Sterling, VA, USA, 2009

[56] Grieser B., Y. Sunak, R. Madlener, "Economics of small wind turbines in urban settings: An empirical investigation for Germany", Renewable Energy, Vol. 78, June 2015, 334-350.

[57] Cui Z., X. Cai, C. J. Baker, "Large-eddy simulation of turbulent flow in a street canyon", Q. J. R. Meteorol. Soc., 2004, 1373-1394.

[58] Georgakis C., M. Santamouris, "Canyon effects: Calculation of wind speed in an urban street canyon with the aid of a semi-empirical model based on experimental data", International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", May 2005, Santorini, Greece, 117-124.

[59] Soulhac L., Perkins R.J., Salizzoni P., "Flow in a Street Canyon for any External Wind Direction", Boundary-Layer Meteorol, 2008, 126: 365-388.

[60] Lazarov V., D. Roye, D. Spirov, "Study of Variable Speed Wind Turbine with Boost and Non-inverting Buck-Boost choppers and Maximum Power control strategy", Japmed'6 Conference, Bucharest, Romania, July 2009.

[61] Fields J., F. Oteri, R. Preus, I. Baring-Gould, "Deployment of Wind Turbines in the Built Environment: Risks, Lessons, and Recommended Practices", NREL Technical Report, June. 2016.

[62] Council Of Tall Buildings And Urban Habitat, Online, accessed on 09.11.2016 - <http://www.ctbuh.org/TallBuildings/FeaturedTallBuildings/StrataLondon/tabid/2675/language/en-US/Default.aspx>

MSc. Eng. Ivan Bachev, PhD student
 Technical University of Sofia
 8, Kl. Ohridski Blvd. 1000 Sofia
 Tel: +359.883.51.48.87
 e-mail: iv.bachev@tu-sofia.bg

Маг. инж. Иван Бачев, докторант
 Технически университет – София
 бул. Кл. Охридски 8, 1000 София
 Тел: +359.883.51.48.87
 и-мейл: iv.bachev@tu-sofia.bg