

## МЕХАНИЗМИ И МАШИНИ ВЪВ ФОТОВОЛТАИЧНИТЕ ЦЕНТРАЛИ

доц. д-р Радостин Долчинков  
Бургаски свободен университет

### MECHANISMS AND MACHINES IN SOLAR PARKS

Assoc. Prof. Radostin Dolchinkov, PhD  
Burgas Free University

**Abstract:** *The mechanisms and machines used in renewable energy sources are examined in this paper. An overview of photovoltaics and their applicability as alternative energy sources is made. A systematics of mechanisms and machines used in renewable energy, according to various signs and criteria, is proposed.*

**Key words:** *photovoltaic autonomous systems, inverters, trackers.*

В машините използвани във ВЕИ се осъществява работен процес, при който се преобразува механичната енергия и нейното предаване. Предаването на механичната енергия се осъществява чрез съвкупност от подвижно свързани тела, които образуват механизъм. В уредите движението на подвижните части на чувствителния елемент трябва да се преобразува и предаде на изпълнителното устройство. Това също се осъществява чрез някакъв механизъм, който служи за предаване и мащабно преобразуване на движението и силите.

Механизмите във ВЕИ изпълняват следните задачи:

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

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

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

Механизмите, образувачи механичната система, могат да се свързват:

- последователно на принципа „изход – вход” или „изход – стойка”;
- успоредно.

Входните звена на механизмите могат да се съединят с изходните звена на двигателите или с изходните звена на други механизми. В последния случай се образуват нови механизми, имащи по-сложна структура. Такова последователно свързване на механизмите е на принципа „изход – вход”.

При фотоволтаиците, съдържащи няколко изпълнителни устройства, движението на които трябва да бъде съгласувано във времето, се използва успоредно свързване на изпълнителните механизми. Следва да се има предвид, че механизмите, влизащи в състава на успоредно свързване, могат от своя страна, да представляват последователно свързани. Функционалната схема на механичната система на двусов тракер за следене на слънцето, представлява многодвигателна машина, в която механизмите са свързани последователно на принципа „изход – стойка”. В този случай изходното звено на всеки предшестващ механизъм е свързано със стойката на следващия.

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

- лостови;
- зъбни;
- винтови.

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

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

При фотоволтаичните системи за следене на слънцето, изпълнителните механизми непосредствено въздействат на обекта (фотоволтаичният панел) и го преместват пространствено.

Механизми за управление, контрол и регулиране при ВЕИ представляват устройства следящи слънцето и контролиращи преместването на слънчевите панели. Към тези механизми се отнасят и измерителните механизми за контрол на налягането, интензитета на слънчевата радиация и др.

Друг признак по който може да се направи класификация на механизмите използвани във ВЕИ е според движението и разположението на неговите елементи в пространството:

- пространствени;
- равнинни;
- сферични.

Класификацията на механизмите според вида на преобразуване на движението е:

- въртливо във въртливо – редуктори, мултипликатори и съединители;
- въртливо в постъпателно и обратно – зъбни рейки, полиспасти.

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

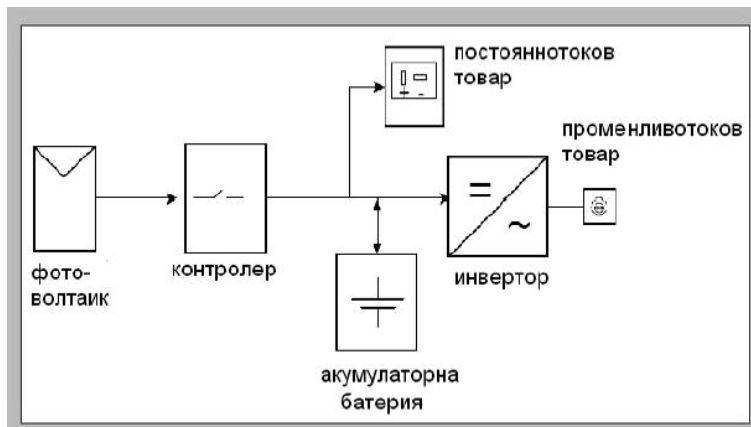
При проектирането и изработването на конструкциите за фотоволтаични паркове е необходимо да се обърне специално внимание на надеждността, устойчивостта и експлоатационната дълготрайност на системите, като се отчетат и въздействията, възникващи по време на тяхната експлоатация. Някои от изискванията, на които

трябва да отговарят, са формулирани в Наредба №3 от 21 юли 2004 г. за основните положения за проектиране на конструкции на строежите и за въздействията върху тях, но като цяло експертите с по-дългогодишен опит в областта препоръчват конструкциите да се проектират така, че да имат товароносимост 250 - 300 кг/кв.м (около 1 м плътен сняг) и устойчивост на измъкване или страничен натиск 120 кг/кв.м (вятър със скорост 160 км/ч).

В практиката са познати няколко системи. Това са:

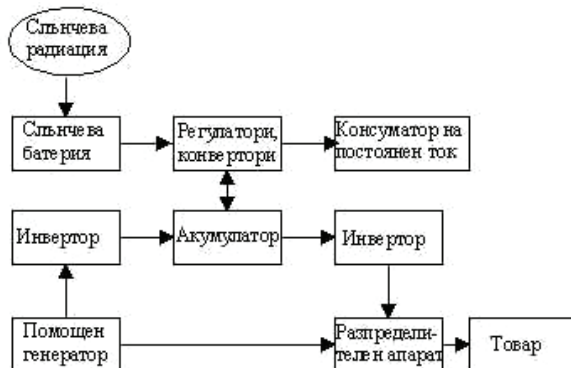
### 1. Автономни системи

Тези системи са първите ценово-ефективни приложения. Те могат да се прилагат на всички места където не може да се направи връзка с националната енергийна мрежа, или където не е финансово изгодно тази връзка. Обикновено тези системи се нуждаят от система за съхраняване на енергията (батерии), защото произведената електрическа енергия не винаги се консумира веднага. Заедно с батериите се използват и устройства за регулиране на заряда както и устройства за управление на получената мощност. Следователно, типична самостоятелна система се състои от следните елементи: фотоволтаични модули, регулатор на заряда, батерии, консуматор – инвертор – фиг. 1.



*Фиг. 1. Блокова схема на примерна автономна фотоволтаична инсталация*

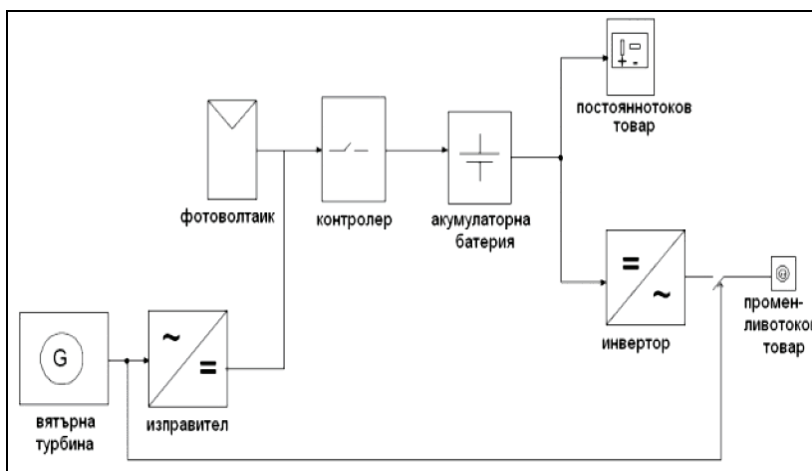
Допълнителната необходима енергия се взема от акумулатор, а остатъчната се отвежда към земята, допълнителни акумулаторни устройства или към електрически резистори – фиг.2.



Фиг. 2. Блокова схема на автономна комбинирана фотоволтаична система

## 2. Хибридни фотоволтаични системи

В случаите, когато фотоволтаиците не са единственият локален източник на енергия, системите обикновено се наричат хибридни. На фиг.3. е показана блокова схема на система с фотоволтаици и вятърен генератор. Комбинирането на различни възобновяеми източници на електроенергия увеличава едновременно и капацитета и надеждността на инсталацията.



Фиг. 3. Блокова схема на примерна хибридна фотоволтаична инсталация

### 3. Фотоволтаични системи свързани с електрическата мрежа – фиг.4

Те основно се състоят от следните елементи: фотоволтаични модули, заземяващи и свързващи елементи, превключвател /изолатор за постоянно напрежение/, инвертор, отчитащо устройство.



Фиг. 4. Блокова схема на примерна фотоволтаична инсталация свързана с електрическата мрежа

Основната разлика между слънчевите системи, свързани към мрежата и автономните системи, е в инвертора. Той трябва да осигурява надеждна работа в паралел със захранващата мрежа. През светлата част на денонощието инверторът работи в генераторен режим, като позволява енергията от фотоволтаика да се отдаде в захранващата мрежа. През нощта или при недостатъчно слънцесветене инверторът преминава в изправителен режим. Той вече се явява консуматор за захранващата мрежа и осигурява захранване на постояннотоковите консуматори, както и подзаряд на акумулаторната батерия.

При последователно свързване на модулите на дадена фотоволтаична ситема се увеличава напрежението, а при паралелно се увеличава тока. Практически се прилага смесено свързване. Системите захранвани със слънчева енергия могат да се разграничат на четири вида.

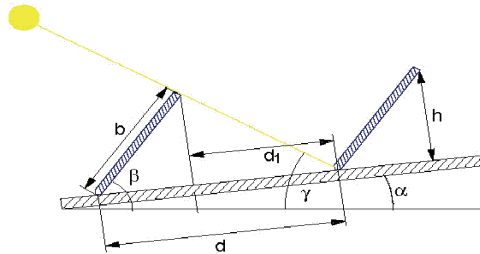
- Първите са *самостоятелните системи* (PV Stand-Alone System), които осигуряват електрическа енергия само при наличие на достатъчно силна светлина и дават постоянно напрежение. Използват се главно в отдалечени места, например за захранване на системи в селското стопанство (водни помпи) и вентил.

- Вторият вид (PV System with Battery) осигурява електрозахранване и при липса на слънце, тъй като имат акумулатор и зарядно устройство. Акумулаторите са от типа Deep-Cycle, което означава възможност за пълно разреждане и консумиране продължително време на сравнително малък ток. Съществуват разновидности без и със инвертор, а най-подходящи са оловните и никел-кадмиевите акумулатори. Използват се на знаци и информационни табла по пътища и в отдалечени места – вили, хижи, маломощни радио-, телевизионни и GSM предаватели, междинни станции на жични и оптични комуникационни мрежи. За зареждане на акумулаторите на електронни устройства има *PVP с вградено зарядно устройство* (Portable Solar Module, Solar Panel Kit).

- Трети вид са *системи с генератор*, които освен акумулатор имат генератор с дизелов двигател, включващ се автоматично при разреждане на акумулатора. Разновидност са *хибридните системи*, обикновено с по-голяма мощност, в които генераторът се включва при повишаване на консумацията дори през деня.

- Четвърти вид, вероятно най-масово използван вид, са *системи свързани към електрическата мрежа* (PV Connected to Utility Grid). Те не само ползват енергия от мрежата при недостатъчна светлина, но могат да и доставят срещу заплащане, като задължително използват инвертори.

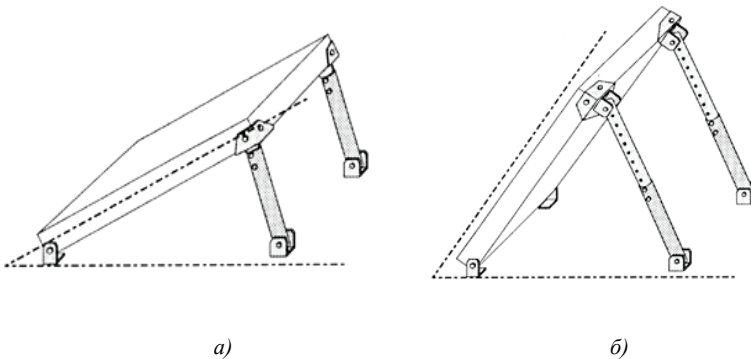
При изграждане на фотоволтаична ситема е необходимо да се намери равен терен или ако не е такъв да се нивелира. Ако самото място е наклонено цялостно на 20-30 градуса това ще доведе до спестяване на площта необходима за конструкцията. На фиг.5. е даден начинът на разполагане на модулите, като за границите на България те трябва да са наклонени на ъгъл от 30 градуса спрямо хоризонта.



Фиг. 5. Разполагане на модулите

Трябва много да се внимава при разположението на панелите, за да не се получава засенчване или преразход на площ.

За ефективността на фотоволтаика е от значение разположението на панела спрямо слънцето. Както и за слънчевия колектор, така и слънчевата батерия е най-добре да се разположи на ъгъл спрямо хоризонта равен на ъгъла на географската ширина. На фиг. 6.а и фиг.6.б. са дадени разположенията на панелите през различните сезони



Фиг. 6. Разположение на панелите а/ за лятото и б/ за зимата

Поддържащата конструкция е третия основен компонент след модулите и инверторите при изграждането на фотоволтаични електроцентрали. В момента се произвеждат основно три типа:

- Фиксирана поддържаща конструкция (изработена от алуминий или стомана);
- Едноосна следяща система;
- Двусна следяща система (тракер).

Носещите конструкции за фотоволтаични паркове биват статични и активно следящи траекторията на слънцето. От своя страна статичните конструкции се разделят на няколко вида, в зависимост от използваните материали и начина за монтаж на съоръженията.

#### **А. Статични конструкции**

Най-елементарният модел са т. нар. набити мантинели, които представляват алуминиеви или стоманени пилони, забити директно в земята. За по-голяма корозоустойчивост стоманените елементи обикновено са галванизирани, или поне тази част от тях, която е забита в земята и е под вредното влияние на киселинността на почвата.

Фиксираните поддържащи конструкции представляват алуминиеви стойки – фиг.7., на които се закрепят модулите. Стойките са под ъгъл, който осигурява оптимално поглъщане на слънчевите лъчи от модулите през цялата година и се избира в зависимост от географското местоположение на местността.

Оразмеряването на стойките става с помощта на специализиран софтуер, който изчислява статични натоварвания в зависимост от товара (слънчеви модули), който ще бъде поставен върху нея. Конструкцията се прикрепя със забиване в земята по примера на пътните мантинелни колове.



**Фиг. 7.** Алуминиева поддържаща конструкция

За да се избегне засенчване се използват цилиндрични фотоволтаични модули, които позволяват хоризонтален монтаж и не изискват оставянето на разстояние между панелите. Модулите се разполагат плътно един до друг на отстояние 35 см, така че да се осъществява свободен въздухообмен – фиг.9.

Известни са 4 основни типа пасивни слънчеви системи: директни пасивни системи, масивни слънчеви стени, естествено осветление и прилепени слънчеви пространства. Комбинирано приложение на тези системи е показано на фиг. 8.



**Фиг. 8.** Соларна къща



**Фиг. 9.** Фотоволтаична централа с фиксирана поддържаща конструкция намираща се в Испания

Активно следящите системи за фотоволтаиците с вграден механизъм за проследяване траекторията на Слънцето, имат за цел да максимизират производството на електроенергия чрез завъртане на фотоволтаичните панели в оптимална позиция. Насочването на модулите се реализира на базата на измерени стойности на слънчевата радиация или чрез контролер, конфигуриран за конкретното географско местоположение на всеки тракер. Те биват едноосни и двuosни следящи системи- тракери.

Следящата система за разлика от фиксираната поддържаща конструкция увеличава добива на произведената електроенергия благодарение на това, че следи пътя на слънцето от изток на запад. Поради големите си размери, фундаментите на тракерите са много по-масивни, защото са по-лесно уязвими на вятър и се увеличава вероятността от повреда вследствие на натрупване на сняг. Въпреки рисковете тракерите имат защита от вятър, която може да се настройва при каква стойност на вятъра да заемат хоризонтална позиция, като по стандарт е прието 10 m/s. В този случай позиционера изпитва многократно по-малко натоварване от вятър, отколкото статичната конструкция.

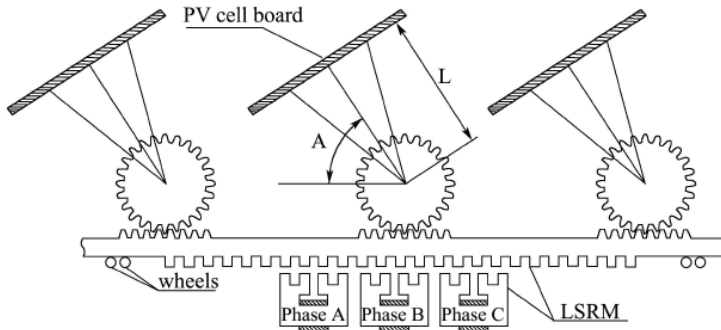
Насочването на модулите се реализира на базата на измерени стойности на слънчевата радиация или чрез контролер, конфигуриран за конкретното географско местоположение на всеки тракер. Използването на позициониращи конструкции увеличава ефективността на панелите с около 25% за едноосно следящите (фиг. 10) и с около 30-35% за двuosно следящите системи /фиг.12./ Поддръжниците на статичните носещи конструкции за фотоволтаици отчитат това тяхно преимущество, но смятат че тракерите изискват допълнителен разход за оборудване и за поддръжка на подвижните части на системите, който вероятно ще погълне очакваните по-високи печалби.

Съществуват различни модификации на конструкцията на тракерите – фиг.11, но като цяло те се изработват от стабилна основа, комплектована с подвижни стоманени и алуминиеви профили, въртяща се платформа и съответните задвижващи и уплвяващи модули.



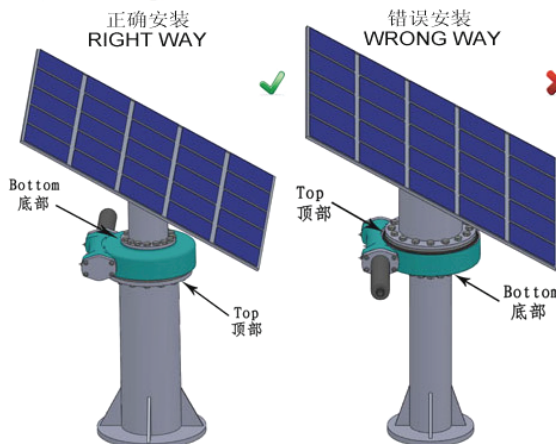
*Фигура 10. Едноосна следяща система*

Върху тракера могат да се монтират два, три или повече фотоволтаични панела. Предлагат се едноосни и двуосни тракери, които осигуряват вертикално или едновременно хоризонтално и вертикално насочване на модулната повърхност. Типът, големината и посоките на движение на позиционерите се определят в зависимост от спецификите на приложението. Използването на по-малки платформи е по-добрият избор от техническа и от икономическа гледна точка, защото може да се проектират и разположат на терена така, че да не се засенчват. Това е особено важно при оптимизиране на разстоянията между въртящите се платформи във фотоволтаични паркове, тъй като в тях площта на терена е ограничена и дължината на кабелите не бива да бъде твърде голяма, с оглед намаляване на електрическите загуби и допълнителното оскъпяване на проекта.



Фиг. 11. Кинематична схема на едноосен следящ тракер

Solar Tracking



Фиг. 12. Двуосна следяща система



*Фиг. 13. Двусна следяща система във военна база Нелис, САЩ*

Рисковият елемент при позиционерите са движещи им части, поради което се повишават разходите за поддръжка. Също така трябва да отчетем факта, че са приложими за местности с минимален ъгъл на наклон т.е. равен терен и добра слънчева радиация – фиг.13. Допълнителен риск е функционалността на софтуера и задвижващия двигател, които определят наклона и движението на този тип конструкция във всеки един момент.

Както бе споменато по-горе наклонът на фотоволтаичния панел към слънчевите лъчи е един от основните фактори, определящи неговия коефициент на полезно действие. Тази особеност се използва за увеличаване на добива на електроенергия. За точното позициониране на панела е необходимо наличие на система за управление.

Тракери с предварително програмирани системи за следене на траекторията на слънцето за дълъг период от време се нуждаят от начално задаване на GPS координатите при инсталиране на системата; точен часовник за реално време с възможност за досверяване в бъдеще; както и от непрекъсваемо захранване, за да може часовникът да работи точно. За да функционира нормално, системата се нуждае и от информация за реалната позиция на панелите. Това става с помощта на датчици. Датчиците на този тип позиционери не се нуждаят от интерфейс и начално програмиране на GPS координатите, тъй като се самообучават (от фотоклетките) и след известен период от време започват да работят самостоятелно при всякакви метеорологични условия.

При някои от по-съвременните видове тракери е заложена електроника, която не се нуждае от датчик. При тях директно се следи напрежението и тока на панелите и чрез последователни опити се търси положението на панела, при което той добива максимална ефективност на преобразуването.

Фотоволтаичната тракерна система се състои условно от силова, управляваща, комуникационна и измервателна част (фиг. 14).



**Фигура 14.** Устройство на фотоволтаична тракерна система  
захранваща консуматор

Като цяло електрическите следящи системи осигуряват най-голяма точност при позиционирането на фотоволтаиците. Те дават възможност разположението на модулите да се програмира, дори и в случаите, когато няма пряко лъчение. Сред останалите им предимства са обогатената функционалност, като например бърза реакция при неблагоприятни метеорологични условия и завъртане на фотоволтаичния панел в най-безопасна позиция спрямо вятъра; усвояване на енергията от последните лъчи на слънцето за връщане на позиционера в изходна позиция и др.

Сред иновациите в електрониката на панелите е и внедрената логика против засенчване. В големи фотоволтаични паркове понякога се получава осветяване само на първия (или последния) панел сутрин рано и вечер късно, а всички останали са засенчени. При такава ситуация се генерира много по-малко енергия, отколкото ако всички позиционери са в хоризонтални позиции. Чрез управление с централен компютър може да се извърши оптимизация на цялата група, така че ефектите от засенчване да са минимални.

Тракерът показва своето предимство най-вече в сутрешните и следобедни часове, когато фиксирани системи работят с понижен капацитет. Соларните тракери гарантират оптимално използване на слънчевата енергия. Благодарение на това, че през целия ден системата е насочена към слънцето, а с това и самите панели, значително се увеличава тяхната ефективност.

**Литература:**

- [1]. Долчинков Р., 3-D моделиране на фотоволтаичен панел със задвижващ механизъм, Годишник на БСУ, том XXVII, 2012.
- [2]. Божинов, Я., „Възобновяеми енергийни източници” – Технически университет Варна 2004.
- [3]. Стоев, М., „Фотоволтаични технологии, развитие и особености.Слънчев енергиен център”, С., 2010.
- [4]. Долчинков Р., Иновации в алтернативните възобновяеми източници на енергия, Конференция на Община Бургас, Проинновативните структури на община Бургас-създаване на иновационна мрежа, 2012.
- [5]. Долчинков Р., П. Георгиева, Ефективност на системи за слънчево, Годишник на БСУ, том XXVII, 2012.
- [6]. <http://www.spacecad.bg>
- [7]. <http://www.ferdix.com/>
- [8]. <http://www.shtrakov.net/>
- [9]. <http://www.rea-ruse.com/>
- [10]. [http://wikipedia.org/wiki/Solar\\_tracker/](http://wikipedia.org/wiki/Solar_tracker/)
- [11]. <http://www.solaree-bg.eu/>
- [12]. <http://www.emde-solar.com/>
- [13]. <http://b2b.150m.com/>
- [14]. <http://www.scribd.com/>
- [15]. <http://lex.bg/>
- [16]. <http://www.enel.bg/>
- [17]. <http://ecoproject-bg.com/>
- [18]. <http://energy21-bg.net/>
- [19]. <http://www.strategy.bg/>
- [20]. <http://ldv-pgee.com/>