



**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА**

**инж. Ирина Петрова Павлова**

**ТЕОРЕТИЧНА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА  
ОЦЕНКА НА СЛЪНЧЕВИЯ ПОТЕНЦИАЛ ЗА  
ГРАД ВАРНА**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

**на дисертация за получаване на  
образователна и научна степен „ДОКТОР”**

**Научен ръководител: доц. д-р инж. Илия Хаджидимов  
Научен консултант: н. с. I ст. инж. Венелин Павлов**

**Рецензенти:**

- 1. Проф. д-р инж. Иван Касабов**
- 2. Проф. д-р инж. Никола Калоянов**

**Варна, 2012 г.**

**Дисертационният труд е обсъден на 10.10.2012 година в катедра „Топлотехника” и насочен за защита.**

**Докторантът работи в катедра „Топлотехника”, Корабостроителен факултет.**

**Автор: Ирина Петрова Павлова**

**Заглавие: „ТЕОРЕТИЧНА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ОЦЕНКА НА СЛЪНЧЕВИЯ ПОТЕНЦИАЛ ЗА ГРАД ВАРНА“**

**Тираж: 10 броя**



**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА**

**инж. Ирина Петрова Павлова**

**ТЕОРЕТИЧНА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА  
ОЦЕНКА НА СЛЪНЧЕВИЯ ПОТЕНЦИАЛ ЗА  
ГРАД ВАРНА**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

**на дисертация за получаване на  
образователна и научна степен „ДОКТОР”**

**Варна, 2012 г.**

Дисертационният труд съдържа 171 страници, включително 123 фигури и 49 таблици, оформени в пет глави, общи изводи и списък на използваната литература от 169 заглавия, от които - 92 на кирилица и 77 на латиница. Към дисертацията е прикрепено ПРИЛОЖЕНИЕ в обем от 162 страници състоящо се от 24 таблици и 45 приложения.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 06. 03.2013 г. от 9<sup>00</sup> часа в Конферентна зала на НУК, Технически университет - Варна на открито заседание на научно жури, сформирано със заповед на Ректора № 541/23.11.2012 г.

Материалите по защитата (дисертацията, приложението, рецензиите и становищата) са на разположение на интересувашите се във ФД „Докторанти“, стая 318 НУК.

## **I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

### **1. Актуалност на проблема**

Повишеният интерес към възобновяемите енергийни източници се обяснява с факта, че традиционните класически източници на енергия, поради своята ограниченост, не могат да обезпечат дълго време устойчивото развитие на обществото. Едновременно с това последиците от въздействието, което оказва енергопроизводството на околната среда, води до екологични проблеми и нарушено равновесие на природната система. Енергийната политика на Европейския съюз предвижда постигане на 20%-ен дял на „зелената“ енергия в енергийния баланс на общността през 2020 година. Като резултат на тази политика е преосмислената енергийна стратегия в България и разработването на различни сценарии в енергийния сектор.

Слънцето е неизчерпаем източник, който превръща слънчевата енергия в енергия на бъдещето, защото тя разрешава екологичните и енергийни проблеми на човечеството. По тази причина законодателствата на различни държави, в това число и България, поощряват инвестициите в слънчева енергия като гарантират високи изкупни цени на енергията, произведена от фотоволтаици за един продължителен период от време - 25 години.

В нашата страна като цяло, и в частност - град Варна, са налице потенциалните възможности за развитие и увеличаване капацитета на електропроизводството от фотоволтаични модули. Това осигурява нашата стабилност, сигурност и енергийна независимост.

Разработката на този дисертационен труд и получените резултати са в резултат на реализиране на проект № Д002-48/10.12.2008 на тема: „РАЗВИТИЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАНА НАУЧНА ИНФРАСТРУКТУРА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ ПОТЕНЦИАЛА НА СЛЪНЦЕТО И ВЯТЪРА”. Това потвърждава актуалността на проблема на настоящата дисертация.

### **2. Цел и задачи на изследването**

Целта на настоящата дисертация е **СЪЗДАВАНЕ НА ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЛЪНЧЕВИЯ ПОТЕНЦИАЛ ЗА КОНКРЕТНО ГЕОГРАФСКО ПОЛОЖЕНИЕ - град ВАРНА.**

Реализирането на поставената цел изисква решаването на следните основни задачи:

1. Създаване на база данни за глобалната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност и температура на околната среда за град Варна за минимален период от една година.
2. Анализирание на експерименталните данни, получени от измервателна мачта при стандартни условия от метеорологична гледна точка и сравняването им със статистически данни за Варна.

3. Създаване на числен модел за пресмятане на базата на получените експериментални резултати, чрез който да се определи слънчевия потенциал за Варна при произволен наклон на колекторите или соларните модули за едногодишен период.
4. Реализиране на приложен софтуер, с помощта на който да се прогнозира теоретичното количество енергия от Слънцето върху повърхност с произволен наклон за определено географско положение. В приложението софтуер да се даде възможност за сравняване на експериментални резултати с теоретичните, с което да се прецизират и доуточнят емпирични показатели за пряката и разсеяна радиация за варненския регион.

### **3.Обект и предмет на изследването**

Обект на изследване, към който е насочен дисертационния труд са метеорологични данни за слънчевата радиация за град Варна.

Предмет на изследване е интензитета на глобалната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност.

### **4.Методи на изследването**

При разработката на настоящата дисертация са използвани числени методи и статистически анализ.

### **5.Място на изследването**

Място на изследването е полигон на лабораторията по Нови енергийни източници при Технически университет - град Варна.

### **6.Научна новост на изследването**

В резултат от работата на дисертационния труд е създаден теоретико-експериментален модел на глобалната слънчева радиация за определено географско положение - град Варна и подробна база данни за едногодишен период на слънчевата радиация и температура на околната среда.

### **7.Практическа ценност на изследването**

Разработеният теоретико-експериментален модел на глобалната слънчева радиация може да се използва от технолози, проектанти, метеоролози, архитекти, с цел съкращаване времето при подбор и проектиране на подходящи системи за енергийно преобразуване енергията на Слънцето.

### **8.Апробация на изследването**

Дисертационната работа е докладвана и обсъждана на заседания на катедра „Топлотехника“, Корабостроителен факултет при Технически университет - Варна.

## **9. Публикации по дисертационния труд**

По темата на дисертацията са публикувани 5 научни статии, рецензирани и отпечатани в национални и чужди научни списания.

## **II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Начинът ни на живот и навиците ни са свързани с използването предимно на изкопаеми енергийни ресурси, които са невъзобновяеми - въглища, петрол, природен газ. Непрекъснатата консумация и повишената употреба на изкопаемите горива води до тяхното изчерпване в близките няколко десетилетия. Повишенията в цените и факта, че доставчиците на горива са разположени в политически нестабилни геополитически страни водят до рязко повишаване на цената на петрола (около 100 долара на барел). Важен фактор са и климатичните промени, настъпили вследствие употребата на изкопаеми горива.

Европа е пред три основни предизвикателства: изменение на климата, растяща зависимост от вноса на енергоресурси и високи енергийни цени. Новата европейска енергийна политика цели ограничаване изменението на климата, сигурност и конкурентноспособност на енергетиката за икономически ръст, работни места и приемливи цени за потребителите.

Достигането на политическите цели на Европейския съюз става възможно чрез развитие и усъвършенстване на сектора на възобновяемите енергийни източници. Използването им е основен фактор за преминаване към нисковъглеродна икономика, за сигурност на енергийните доставки и за развитие на нови високотехнологични производства. Това се осъществява чрез прилагане на гъвкави механизми, чрез които общоевропейската цел за възобновяемите енергийни източници да бъде изпълнена с най-малко разходи.

За превръщане на РБългария в енергийно устойчива страна се провеждат мероприятия за популизиране на възобновяемите енергийни източници и екологични технологии, свързани с производство и употреба на природните ресурси. Провежданите на политическо и икономическо нива дейности са свързани с прилагане на мерки, които водят до:

- пестене и намаляване консумацията на енергия и повишаване на енергийната ефективност;
- внедряване на възобновяеми енергийни системи, противодействащи на изчерпването на природните ресурси чрез интегрирането им в енергоспестяващи мерки и дейности.

Директива 2009/28/ЕО на Европейския парламент и на Съвета за поощряване енергията от възобновяеми енергийни източници постави общата рамка за развитие на сектора в Европейския съюз чрез приемане на общоевропейската цел за увеличаване дела на възобновяеми енергийни източници. Тази нова енергийна политика за Европа е начин за постигане на следните цели:

- *увеличаване до 20% дела на възобновяемите енергийни източници в общото енергийно потребление;*
- *задължителен за всички държави-членки на Европейския съюз минимум от 10%-ен дял от биогоривата в потребление на бензин и дизелови горива за транспорта;*
- *намаляване с 20% на потреблението на енергия;*
- *намаляване на емисиите парникови газове най-малко с 20%, в сравнение с 1990 година.*

Делът на възобновяемата енергия в общото крайно потребление на енергия на Европейския съюз е 8.5% през базовата 2005 година, което означава, че за Общността е нужно средно увеличение от 11.5% за постигане на целта от 20% през 2020 година.

Въпреки все още високата си цена, енергията произвеждана от Слънцето, се ползва с предимство пред другите начини на енергопроизводство:

- *получава се от практически неизчерпаемата, безплатна и екологично чиста енергия на Слънцето;*
- *разработените слънчеви системи са гъвкави, безшумни, изискват лек монтаж и малка поддръжка след първоначална настройка, надеждни и зависят само от слънчевата светлина и метеорологичните условия;*
- *с времето слънчевите системи стават по-евтини и същевременно по-ефективни - първоначалната им цена е по-висока, но впоследствие произвежданата енергия е с ниска себестойност.*



# ГЛАВА ПЪРВА

## СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА - ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

### 1.1. Ресурс на конвенционалните източници на енергия

Отговорността на енергийната индустрия е да осигурява адекватни условия за покриване на настоящите нужди от енергия на световната икономика. Енергетиката трябва да балансира между предизвикателствата на изчерпващите се запаси от конвенционални енергийни ресурси, огромните екологични поражения, които използването им нанася върху околната среда и задължението да осигурява качествено, непрекъснато, стабилно енергоснабдяване на достъпни цени.

Нарастващото търсене на енергийни ресурси, резките скокове на цените на енергията и опасенията за увеличаващата се зависимост от внос на газ и нефт изведе енергетиката на преден план в дневния ред на Европейския съюз.

Първични енергийни източници се наричат невъзобновяемите суровини (изкопаеми твърди горива, суров петрол, природен газ), както и възобновяемите такива (хидроенергия, геотермална енергия, енергията на биомасата, вятъра и Слънцето).

Около 80% от енергията, която ЕС консумира, е от изкопаеми горива - нефт, природен газ и въглища. Голяма част от тях се внасят в ЕС, като делът на този внос непрекъснато нараства и към 2030 година се очаква 70% енергийна зависимост.



*Фиг.1.1. Структура на вложените енергоносители в България през 2008 година*

### 1.2. Възобновяеми енергийни източници (ВЕИ)

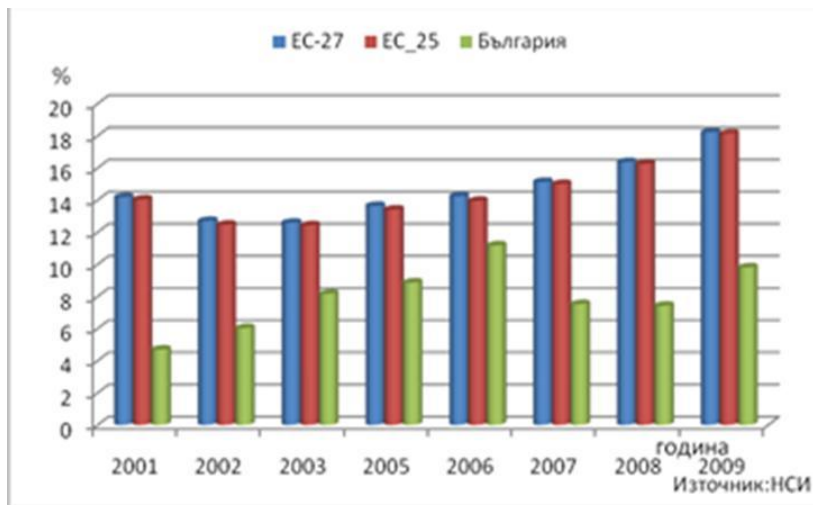
- **Ролята на възобновяемите енергийни източници за развитието на енергетиката**

Достигането на балансирано развитие на общия енергиен пазар, повишаване сигурността на доставките на енергия, спазване изискванията за опазване на околната среда и предотвратяване на климатичните промени става възможно чрез оползотворяването на местния потенциал от възобновяеми енергийни източници. Енергията от възобновяеми източници е енергията от възобновяеми неизкопаеми

източници - вятърна, слънчева, аеротермална, геотермална, хидротермална и океанска енергия, водоелектрическа енергия, биомаса, сметищен газ, газ от пречиствателни инсталации за отпадни води и биогазове. Енергията от възобновяеми източници, енергийната ефективност и пестенето на енергия са най-евтините, най-безопасните, най-сигурните и най-приемливите от гледна точка на природата и обществото начини да се постигне ограничаване на емисиите на парникови газове в енергийния сектор.

При високо ниво на инвестиции за развитието на нетрадиционните източници на енергия, слънчевата енергетика може да обезпечи 10% от общата световна енергия през 2020 година, ветровата енергия - 15%, хидроенергията - в порядъка на 9%. Предполага се, че производството на ядрена енергия няма да се увеличи и ще остане на същото ниво, каквото е в настояще, т.е. в порядъка на 7%, а частта на енергията от отпадъци ще

е приблизително 4%. Прогнозира се частта на природния газ в световния енергобаланс да нарастне до 30% в продължение на близкото десетилетие.



**Фиг.1.3. Произведена електрическа енергия в Е-27, Е-25 и България от възобновяеми източници**

### ➤ Енергия на Слънцето

Основният вид “безплатна” неизчерпаема енергия се счита **Слънцето**. То дава всяка секунда на Земята 80 000 милиарда киловата, т.е. няколко пъти повече отколкото всички електростанции по света. За една година Земята получава от Слънцето около 196.1021 kcal лъчиста енергия, която е около 10 пъти повече от всички нейни открити и неоткрити енергийни запаси взети заедно.

Предимствата на слънчевата енергия се обуславят от редица обстоятелства:

- достъпна е във всяка точка на планетата ни, като се различава по плътността на потока на излъчване не повече от два пъти;
- екологично чист източник на енергия, който позволява да се използва с нарастваща интензивност в големи мащаби;
- практически неизчерпаем източник на енергия, който ще бъде достъпен и след милиони години;
- дава възможност за точно прогнозиране стойността на получената топлина;
- по-икономична в сравнение с използваните изкопаеми горива.

Използването на слънчеви отоплителни системи води до:

- намаляване отделянето на парникови и вредни газове;

- автономно производство на енергия, което намалява зависимостта от внасяне на горива;
- намаляване натоварването на околната среда за сметка на липсата на транспортиране на изкопаеми горива, а също и други негативни фактори на традиционната и атомна енергетика.

Основните области на приложение на слънчевата енергия са:

- Естествени трансформации на слънчевата енергия - естественото събиране на слънчевата енергия се осъществява в атмосферата, океаните и растенията. Взаимодействието между слънчевата енергия, океаните и атмосферата създават ветровете, използвани в продължение на векове от вятърните мелници.

Около 30% от слънчевата енергия, достигаща до външния край на атмосферата се консумира в хидроложкия цикъл. Той създава валежите, които от своя страна осигуряват водните басейни. Чрез фотосинтезата, слънчевата енергия помага на растенията, които могат да се използват като гориво, например под формата на дървесина и природни горива.

- Директно преобразуване в електрическа/топлинна енергия - директното събиране на електричество включва изкуствени устройства, наречени колектори. Веднъж събрана, енергията се използва в термални процеси или чрез фотоелектрически или фотогальванични процеси. В термалните процеси слънчевата енергия се използва, за да се затопли газ или течност, която след това се складира или разпределя. Във фотогальваничните процеси, слънчевата енергия се превръща директно в електричество, без необходимостта от междинни устройства.

### **1.3. Стратегия на Република България за възобновяеми енергийни източници**

Концепцията за енергийната стратегия на България до 2020 година е ориентирана към отчитане на постановките одобрени на европейско ниво и представляващи пакет от интегрирани мерки за създаване на нова обща енергийна политика на Европа, насочена към преориентиране на икономиката към ефективно използване на енергия от нисковъглеродни източници.

Използването на ВЕИ намалява зависимостта от внос, подобрява сигурността на енергоснабдяването, осигурява изпълнението на задълженията по опазване на околната среда и намаляване на емисиите на CO<sub>2</sub>, облекчава търговския баланс и подпомага трудовата заетост.

Енергийната стратегия на РБългария от 2002 година е насочена към решаване на средносрочните проблеми на прехода към финансово стабилна и пазарно ориентирана енергетика чрез провеждане на институционални, регулаторни и структурни реформи с цел икономически ефективно и сигурно енергоснабдяване, съобразено с изискванията за опазване на околната среда.

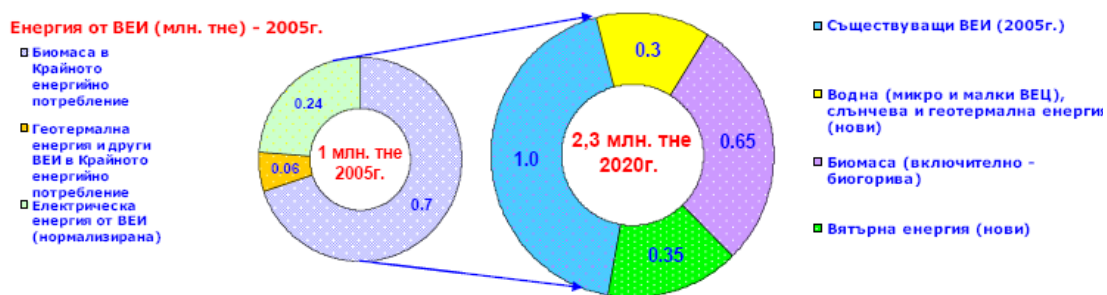
Налице са благоприятни възможности за постигане на националната цел -16% от общото крайно потребление на енергия в страната през 2020 година да бъде от ВЕИ:

- техническият потенциал от биомаса, малки ВЕЦ и вятър за производство на електрическа енергия възлиза на 1.4 млн. тне/годишно. Развитието на микро- и малки

ВЕЦ и биомаса и запазване на действащите условия за насърчаване на вятърната енергия създават възможност за оползотворяване на 80% от общия потенциал, което е еквивалентно на 1.12 млн.тне;

- допълнително, биомасата (слама и дърва) е ресурс, който допринася за отопление и охлаждане чрез енергия от ВЕИ;
- трите ВЕИ, чрез които се осъществява набелязаната цел са: вятър, биомаса и ВЕЦ;
- най-големият технически потенциал (4.1 млн. тне) е налице във фотоволтаичните слънчеви инсталации. Поради високите преференциални цени от него не могат да бъдат оползотворени повече от 10%;
- водният ресурс (малки и големи ВЕЦ) продължава да играе доминираща роля в производството на електрическа енергия от ВЕИ.

Количеството енергия от ВЕИ нараства със 130% спрямо 2005 година чрез насърчителни схеми (фиг.1.5.) в подкрепа оползотворяването на водната енергия (микро- и малки ВЕЦ), слънчева, геотермална и вятърна енергия, биомаса.



Фиг.1.5. Прогнозирано производство на енергия от ВЕИ в България (млн.тне)

#### 1.4. Оползотворяване на слънчевата енергия

##### ➤ Видове слънчева радиация, енергиен баланс

Слънцето е звезда с големина приблизително 1.4 милиона километра в диаметър, на възраст около 4.5 милиарда години. То е източник на радиация, в много широк честотен диапазон, дължаща се на сложни високотемпературни процеси (ядрен синтез) на свързване на водородните ядра в хелий. Благодарение на тази ядрена реакция се освобождава огромната част от излъчваната енергия.

Различават се пряка, разсеяна (дифузна) и отразена слънчева радиация.

**Пряката слънчева радиация** е основната част от притока на лъчиста енергия върху земната повърхност. Тя зависи от височината на Слънцето, прозрачността на атмосферата, облачността, надморската височина, географската ширина и наклона на земната повърхност. Интензивността на пряката радиация се повишава с издигането на Слънцето над хоризонта и в ясно време през лятото достига максимума си - от 900 до около 1000 W/m<sup>2</sup> в истинско пладне.

**Разсеяната радиация** зависи от същите фактори, от които и пряката радиация. Колкото по-голяма е височината на Слънцето и облачността на атмосферата, толкова по-интензивен е потокът от разсеяна радиация. Облаците, които не закриват Слънцето, увеличават този поток в сравнение с ясното небе. Зависимостта на разсеяната радиация

от облачността е много сложна, тъй като се определя от вида, количеството, вертикалната мощност, оптичните и други свойства на облаците.

**Сумарната радиация** включва пряката и разсеяната (дифузната) радиация.

#### ➤ **Слънчева радиация и модели**

Наличието на данни за слънчевата радиация дава възможност за пълноценно оползотворяване на слънчевата енергия за проектиране на фотоволтаични и топлинни системи както и осигуряване на подходящ дизайн на сградите за пасивно отопление. Надеждността на тези налични данни спомагат за правилното проектиране и точна оценка на работата на дадена соларна технология за конкретно географско местоположение. От особено значение е познаването на пряката слънчева радиация, която може да се концентрира и така да се увеличи електроенергията в соларните системи.

Независимо, че преминавайки през атмосферата, слънчевата радиация се променя, тя може да бъде моделирана с висока степен на точност. Разработените слънчеви модели за определяне на директната, разсеяната, отразената и глобална радиация се класифицират като параметрични (атмосферни) и модели по метода на разлагане. Параметричните модели са получени чрез използване на известни атмосферни параметри като продължителност на слънцегреене, относителна влажност на въздуха, качество на въздуха, облачност, географско местоположение, надморска височина. Те са разработени на базата на регресионното статистическо уравнение на Ангстрьом.

$$H = H_o * \left( a + b * \frac{n}{N} \right), \quad (1-6)$$

където  $H$  - средномесечна дневна стойност на плътността на слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност;

$H_o$  - средномесечна дневна доатмосферна плътност на слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност;

$n$  - продължителност на слънцегреенето в месеца;

$N$  - общият брой на дневните часове в месеца;

$a$  и  $b$  - емпирично определени константи.

Моделите по метода на разлагане на глобалната слънчева радиация на нейните компоненти са разработени въз основа на налични експериментални данни за слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност. Тези модели са базирани на корелация между отделните коефициенти: коефициента на яснота  $k_t$ , дифузен фактор  $k_d$ , дифузен коефициент  $k_D$  и коефициент на директната пропускливост  $k_b$ :

$$k_t = \frac{I}{I_o}, \quad k_d = \frac{I_d}{I}, \quad k_D = \frac{I_d}{I_o}, \quad k_b = \frac{I_b}{I_o}, \quad (1-7)$$

където  $I$ ,  $I_b$ ,  $I_d$  и  $I_o$  са съответно глобалната, директната, разсеяната и доатмосферна

слънчева радиация върху хоризонтална повърхност,  $\text{MJ}/\text{m}^2$ .

Глобалната, пряка и разсеяна почасова слънчева радиация върху хоризонтална повърхност се изчисляват на база на среднодневни измерени данни.

Глобалната слънчева радиация върху наклонена повърхност се определя по уравнението:

$$I_{\beta} = I_b + I_{d,\beta} + I_r, \quad (1-8)$$

където  $I_{d,\beta}$  - разсеяна слънчева радиация върху наклонена повърхност;

$I_r$  - отразена от земната повърхност слънчева радиация;

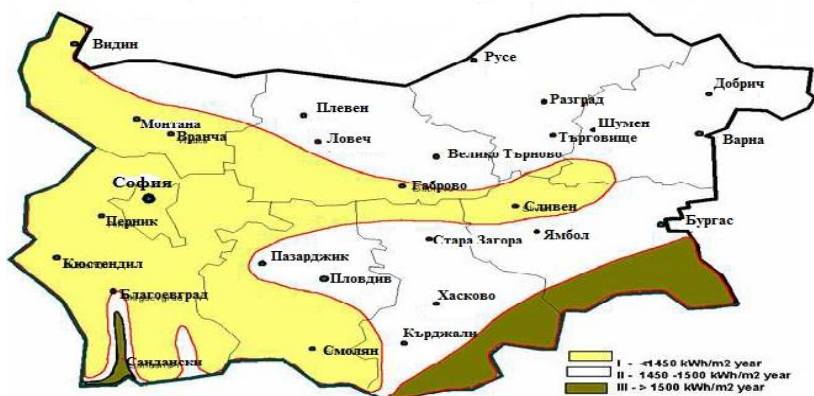
$$I_{d,\beta} = R_d * I_d, \quad (1-9)$$

където  $R_d$  е отношение на разсеяната радиация върху наклонена повърхност към дифузната радиация върху хоризонтална повърхност;

$$R_d = \frac{I_{d,\beta}}{I_d}. \quad (1-10)$$

### ➤ Слънчевата радиация в България

Географското положение на България между  $41^\circ$  и  $44^\circ$  с.ш. определя режима и количеството на слънчевата радиация, която постъпва на горната граница на атмосферата в течение на годината. По-нататъшното ѝ разпределение в атмосферата и количеството, достигащо до земната повърхност зависят от облачността, запрашеността на атмосферния въздух и релефа. За географската ширина на България възможното слънчево греене е в рамките на 4400 - 4500 часа годишно. Поради наблюдаваната облачност действителното слънчево греене е между 2100 и 2500 часа годишно. Съществуват редица карти на слънчевата радиация за страната, но те се различават значително.



Фиг.1.10. Карта за теоретичния потенциал на слънчевата радиация в България

### 1.5. Изводи

На базата на направения литературен обзор за осигуряване нарастващите нужди от електроенергия, за намаляване на външната енергийна независимост и опазване на околната среда, могат да бъдат направени следните изводи:

1. Теоретичните основи за слънчевата радиация не отразяват точно реалното състояние на глобалната слънчева радиация поради силно изразения стохастичен характер на достигащата до земната повърхност радиация. Поради тази причина се налага освен създаване на теоретични модели и експериментално изследване, резултатите от което да се сравнят с теорията.
2. Развитието на енергетиката на световно ниво се обуславя главно от трите фактора: потребност, доставки и въздействие върху околната среда. Целите на Европейския съюз по отношение на енергетиката са заложили в „Стратегията на Европа за интелигентен, устойчив и приобщаващ растеж за 2020 година“ и във водещата инициатива „Европа за ефективно използване на ресурсите“.
3. Ограничените местни изкопаеми горива повишават енергийната несигурност на страната и я поставят в неизгодно положение. Реализацията на новата енергийна политика се осъществява чрез откриване и използване на нови възможности - алтернативни енергийни източници.
4. Изискванията за намаление на парниковите емисии, получени основно в резултат на човешката дейност, и опазването на околната среда могат да бъдат изпълнени чрез внедряване на нови енергийни технологии. Намаляването на климатичните промени и увеличаването на енергийната ефективност са факторите залегнали в Енергийната стратегия на България.
5. За използването и разработването на местните енергийни източници са въведени редица национални задължителни мерки и поощрения. Задълбочено е вниманието за генериране на енергия от възобновяеми енергийни източници.
6. Засилва се вниманието към „чистите“ енергийни източници като вятъра и Слънцето. Все по-голям принос придобива термичната енергия на Слънцето като основен източник на възобновяема енергия. Усвояването на слънчевата енергия и прилагането на нови технологични слънчеви системи може да осигурят бъдещите енергийни нужди.
7. Съгласно географското си разположение, България се намира в зона с висок слънчев потенциал. Средногодишното слънчево греене за страната е около 2150 часа. Общият годишен теоретичен потенциал на слънчевата енергия на страната се оценява от порядъка на 13 000 ktce.
8. Достатъчният годишен потенциал за усвояване на слънчевата енергия се оценява приблизително на 390 ktce, което показва, че България може да прилага достъпни и икономически ефективни технологии за преобразуване на слънчевата енергия. При изграждане на слънчеви енергопреобразуващи системи, задължително условие е проучване за едногодишен срок на слънчевия потенциал за географските координати, където ще се изгражда съоръжението.

9. Липват достатъчно достъпни и достоверни данни за слънчевия потенциал, които да спомогнат развитието и усъвършенстването на фотоволтаичното енергопроизводство. До момента слънчевата енергия се прилага предимно за отопление.
10. Проект № Д002-48/10.12.2008, на тема: „РАЗВИТИЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАНА НАУЧНА ИНФРАСТРУКТУРА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ ПОТЕНЦИАЛА НА СЛЪНЦЕТО И ВЯТЪРА” дава възможност да се направи достоверна оценка на слънчевия потенциал за град Варна.

## ГЛАВА ВТОРА

### СТАТИСТИЧЕСКИ ДАННИ ЗА СЛЪНЧЕВАТА РАДИАЦИЯ. МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЛЪНЧЕВИЯ ПОТЕНЦИАЛ

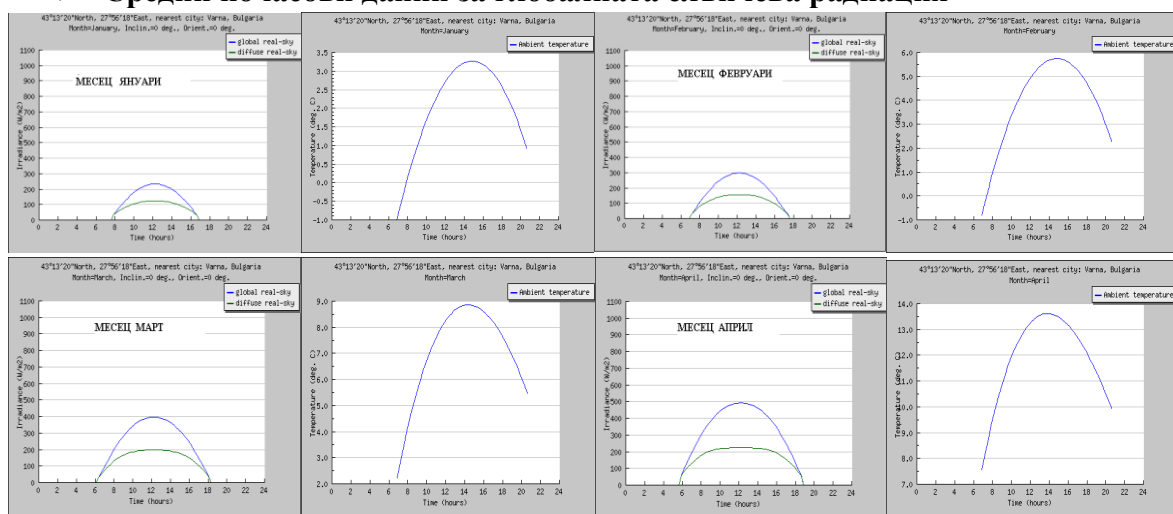
#### 2.1. Статистически данни за глобалната слънчева радиация - Фотоволтаична (фотоелектрическа) географска информационна система (The Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS))

PVGIS ни дава възможности за:

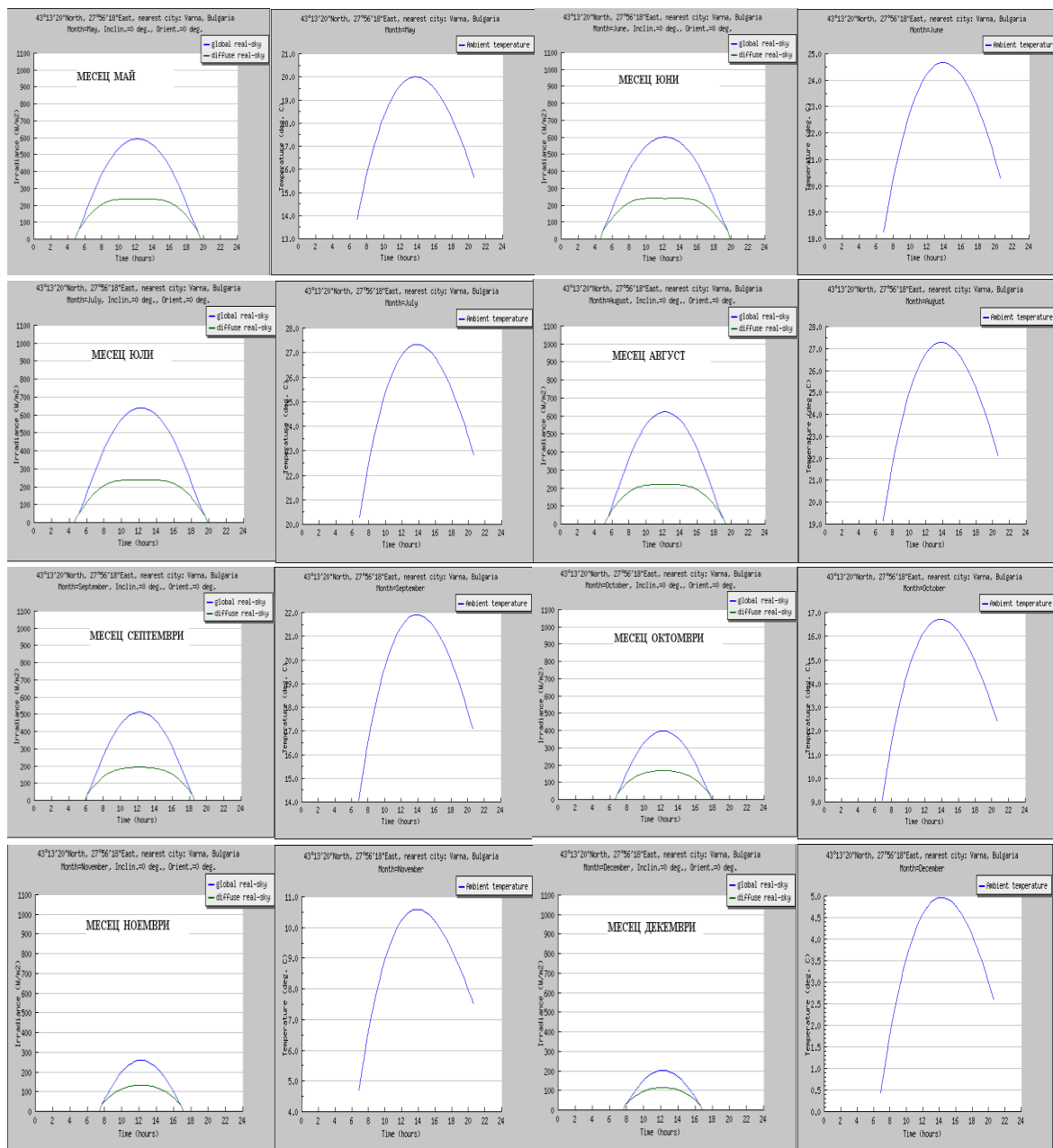
1. Разполагане с база данни за глобална и дифузна слънчева радиация и температура на въздуха за определен географски район.
2. Определяне очакваното средно годишно производство на електроенергия от дадена PV система.
3. Определяне теоретичния потенциал електроенергия на поколения PV системи.
4. Определяне необходимата инсталирана мощност за всяка страна за предоставяне 1% от националното потребление на електроенергия от PV.

Анализът, който дава PVGIS, показва че PV системи допринасят значително за използването на слънчевата енергия като възобновяем енергиен източник, както за настоящите, така и за бъдещите страни - членки на ЕС.

#### ➤ Средни почасови данни за глобалната слънчева радиация







**Фиг. 2.1. Среден почасов интензитет на глобалната и дифузна слънчева радиация и средна денонощна температура на въздуха за град Варна**

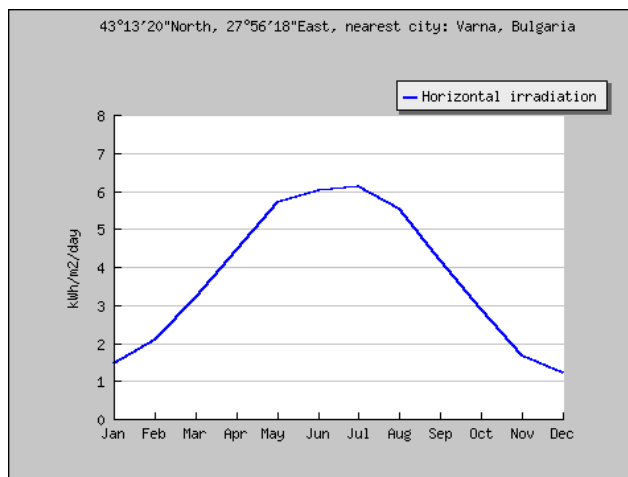
Максималната стойност на интензитета на глобалната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност за разглеждания географски район се получава в часовете по обяд от 11:52 h до 12:37 h. Стойностите през този период варират от 592 до 640 W/m<sup>2</sup>. Максималният интензитет 640 W/m<sup>2</sup> се получава през месец юли. Минималните стойности на плътността на слънчевата радиация са рано сутрин при изгрев слънце и късно следобед - при залез. Изменението на температурите на въздуха е аналогично - минималната температура е регистрирана рано сутринта в 6:52 h, а максималната в часовия интервал от 12:37 h до 14:37 h.

➤ **Данни за средна месечна глобална слънчева радиация**

**Таблица 2.2.**

*Средни месечни стойности на слънчевата радиация*

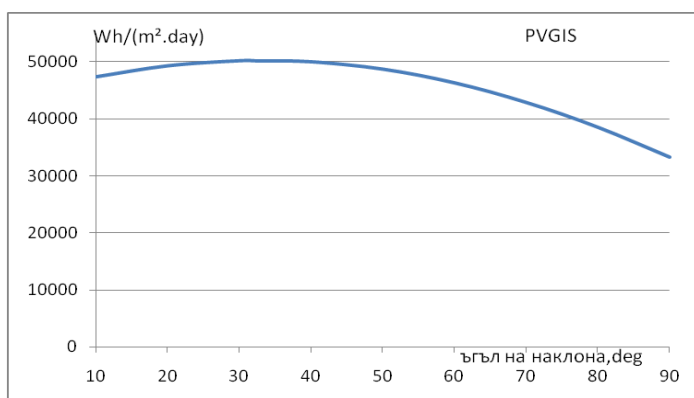
Месец	Слънчева радиация, $kW.h/(m^2 \cdot day)$
Януари	1.450
Февруари	2.090
Март	3.190
Април	4.450
Май	5.690
Юни	6.010
Юли	6.130
Август	5.550
Септември	4.160
Октомври	2.890
Ноември	1.650
Декември	1.230
Годишна	<b>3.720</b>



**Фиг.2.2.Разпределение на средната месечна глобална слънчева радиация за град Варна**

➤ **Годишен оптимален ъгъл на наклонена повърхност съгласно данните на PVGIS**

Като оптимален годишен ъгъл на наклонена повърхност се получава 33°.



**Фиг.2.14. Оптимален годишен ъгъл на наклонена повърхност**

**2.2.Сателитни данни за потенциала на слънчевата радиация - Национално управление по въздухоплаване и изследване на космическото пространство - НАСА. National Aeronautics and Space Administration (NASA)**

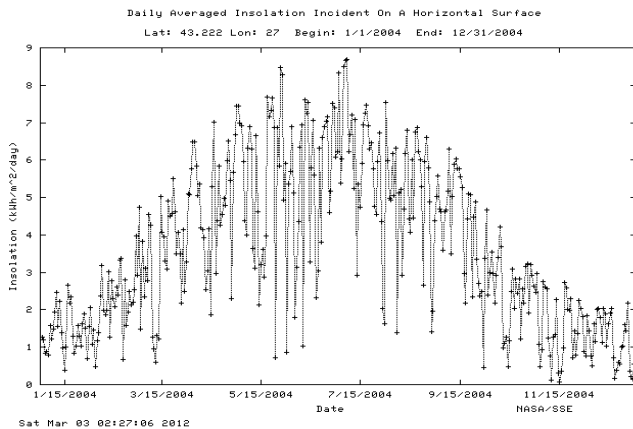
NASA, посредством своята програма „Научни изследвания на Земята” поддържа сателитни системи и осъществява научна работа и изследвания върху изменението на климата и процесите свързани с него. Повечето сателитни станции за измерване са

разположени близо до населени райони, оказващи влияние върху местния климат. Данните, които събира NASA и предоставя за използване, включват дългосрочни прогнози за метеорологичните условия и слънчевите потоци енергия, достигащи до земната повърхност. Доказано е, че тези сателитни и моделирани продукти, предоставят точни и надеждни слънчеви и метеорологични данни за райони, където измерванията са частични или отсъстват. Данните са осреднени по месеци за 22 годишен период (юли 1983 - юни 2005 година) и NASA ги предоставя за свободно ползване в държавни и обществени сектори.

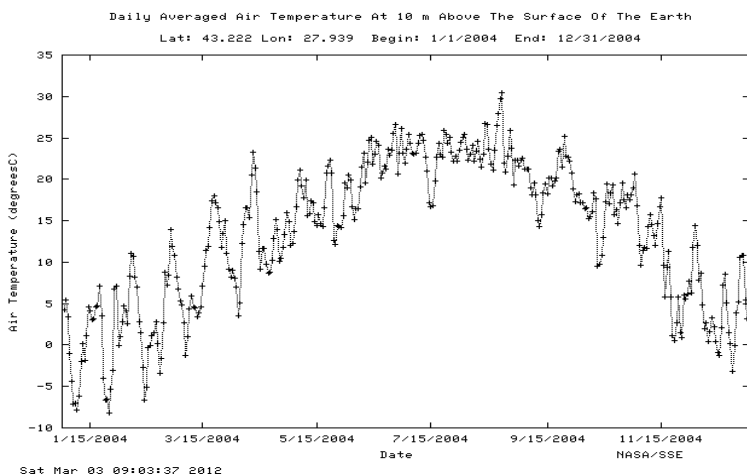
От NASA са снети данни за слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност и температурата на въздуха за координатите на град Варна за 2004 година.

➤ **Средна слънчева радиация върху хоризонтална повърхност**

На *фиг.2.17.* са представени всички статистични данни съгласно NASA за слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност за град Варна за период от една година (2004), а на *фиг.2.18.* - изменението на среднодневната температура на въздуха.



**Фиг.2.17.** Средна слънчева радиация върху хоризонтална повърхност за град Варна за периода от 1.01.2004 година до 31.12.2004 година съгласно NASA



**Фиг.2.18.** Среднодневна температура на въздуха за град Варна за периода от 1.01.2004 година до 31.12.2004 година съгласно NASA

Максималната сумарна дневна слънчева радиация е регистрирана през месец юли - 7.07.2004 година в стойност  $8.7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ , а минималната стойност за цялата година е  $0.07 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$  на 15.11.2004 година.

Сумарната слънчева радиация, която е регистрирана за град Варна от NASA за 2004 година възлиза на стойност  $1\,323.93 \text{ kWh}/\text{m}^2$ .

➤ **Месечни средни статистически стойности на слънчевата радиация за град Варна**

В Таблица 2.5. са представени месечни средни статистически данни на NASA за слънчевата радиация и температура на въздуха за град Варна. Данните са получени в резултат на сателитни наблюдения и изследвания за период от 22 години.

**Таблица 2.5.**

**Месечни средни стойности на слънчевата радиация и температурата на въздуха**

Месец	$I_h$ , kWh/(m <sup>2</sup> .day)	$I_{dif}$ , kWh/(m <sup>2</sup> .day)	$I_{dirnorm}$ , kWh/(m <sup>2</sup> .day)	$k_t$	$t$ , °C
<b>I</b>	1.58	0.69	2.78	0.42	1.4
<b>II</b>	2.35	1.00	3.36	0.45	2.3
<b>III</b>	3.26	1.46	3.62	0.44	6.4
<b>IV</b>	4.30	1.95	4.05	0.45	11.7
<b>V</b>	5.53	2.26	5.23	0.50	17.2
<b>VI</b>	5.59	2.41	5.6	0.51	21.7
<b>VII</b>	6.11	2.25	6.11	0.54	24.2
<b>VIII</b>	5.40	1.94	5.75	0.54	23.8
<b>IX</b>	4.19	1.53	4.98	0.52	19.8
<b>X</b>	2.66	1.14	3.5	0.45	14.5
<b>XI</b>	1.67	0.78	2.62	0.41	7.7
<b>XII</b>	1.27	0.61	2.24	0.39	2.5
<b>Годишна</b>	<b>3.69</b>	<b>1.50</b>	<b>4.16</b>	<b>0.47</b>	<b>12.8</b>

Максималните стойности за глобалната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност (Таблица 2.5.) са през месец юли, юни, май и август. Това определя тези четири месеца като значими за град Варна и дава възможност за създаване на условия за максимално улавяне на слънчевата радиация и нейното пълноценно практическо приложение. Минималната слънчева енергия е през месец декември и януари. На тези стойности - максимални и минимални - за слънчевата радиация отговаря съответния им коефициент на яснота на небето над град Варна, който варира от 0.39 (месец декември) до 0.54 (месец юли и август). Средногодишната дневна стойност на глобалната слънчева радиация е 3.69 kWh/(m<sup>2</sup>.day).

### 2.3. Данни на Българска академия на науките за слънчевото греене

➤ **Продължителност на слънчевото греене**

Продължителността на слънчевото греене е времето, през което Слънцето пряко огрява дадено място и е определяща характеристика на радиационния режим. Обуславя се от периодите, когато Слънцето е над хоризонта и не е закрито от облаци, мъгла, дим, прах и др. Особеностите в разпределението на продължителността на слънчевото греене изясняват основните фактори, влияещи на разпределението на слънчевата радиация.

Продължителността на слънчевото греене за дадено място зависи от дължината на деня, географската ширина на мястото и от прозрачността на атмосферата.

**Таблица 2.6.**  
**Продължителност на слънчевото греене (в часове) за различни периоди за град Варна**

Месец	Период		
	1931 ÷ 1950 год.	1951 ÷ 1970 год.	1931 ÷ 1970 год.
Януари	82	81	83
Февруари	96	90	93
Март	133	120	121
Април	189	163	171
Май	244	219	231
Юни	288	260	274
Юли	332	317	325
Август	318	297	307
Септември	246	222	234
Октомври	163	164	163
Ноември	93	91	92
Декември	75	67	66
Годишно	<b>2259</b>	<b>2094</b>	<b>2180</b>

➤ **Оценка на потенциала на слънчевата радиация в България и град Варна**

Средногодишното количество на слънчевото греене за България е около 2150 часа, а средногодишния ресурс слънчева радиация е  $1\,517\text{ kWh/m}^2$ . Общото количество теоретичен потенциал слънчева енергия падаща върху територията на страната за една година е от порядъка на 13.103 ktoe, а достъпния годишен потенциал за усвояване на слънчевата енергия е приблизително 390 ktoe.



**Фиг.2.21. Карта на слънчевата радиация в България по региони**

Средногодишната слънчева радиация за град Варна е  $1326 \text{ kWh/m}^2$  върху хоризонтална повърхност и  $1523 \text{ kWh/m}^2$  при оптимален наклон.

**Таблица 2.11.**  
**Месечни и годишни суми на сумарната радиация**  
**( $\text{kcal/cm}^2$ ) за град Варна**

Месец	Месечна и годишна суми на сумарната радиация		Среднодневна сумарна радиация
	$\text{kcal/cm}^2$	$\text{kW.h/m}^2$	$\text{kW.h}/(\text{m}^2.\text{day})$
Януари	3.78	43.96	1.42
Февруари	5.55	64.55	2.30
Март	8.80	102.34	3.30
Април	11.52	133.98	4.47
Май	15.13	175.96	5.68
Юни	16.80	195.38	6.51
Юли	18.97	220.62	7.12
Август	16.86	196.08	6.32
Септември	11.80	137.23	4.57
Октомври	7.01	81.53	2.63
Ноември	4.68	54.43	1.81
Декември	3.22	37.45	1.20
<b>Годишно</b>	<b>124.15</b>	<b>1443.86</b>	<b>3.96</b>

Данните от Таблица 2.11. показват, че най-висока радиация град Варна получава през месец юли, почти еднаква през месеците юни и август (средно по  $125 \text{ kWh/m}^2$ ), следвани от месеците май, септември и април. Най-малко слънчева енергия се получава през месец декември, следван от месец януари. Годишната сумарна радиация за град Варна е в порядъка от  $1444 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{year})$ .

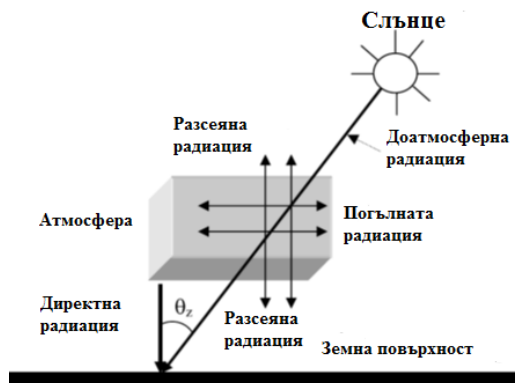
#### **2.4. Методика за определяне слънчевия потенциал върху наклонена повърхност**

##### ➤ **Необходимост от теоретичен модел**

Максималното използване на слънчевата радиация, падаща перпендикулярно на равнината на фотоволтаика, зависи от правилното позициониране на фотоволтаичните модули. От гледна точка на технически и икономически показатели все още се предпочитат статични модули, наклонени под определен ъгъл. Ето защо е от значение определянето на оптималния ъгъл на наклона спрямо хоризонталната плоскост при монтиране на слънчевите фотоволтаични модули или топлинни колектори.

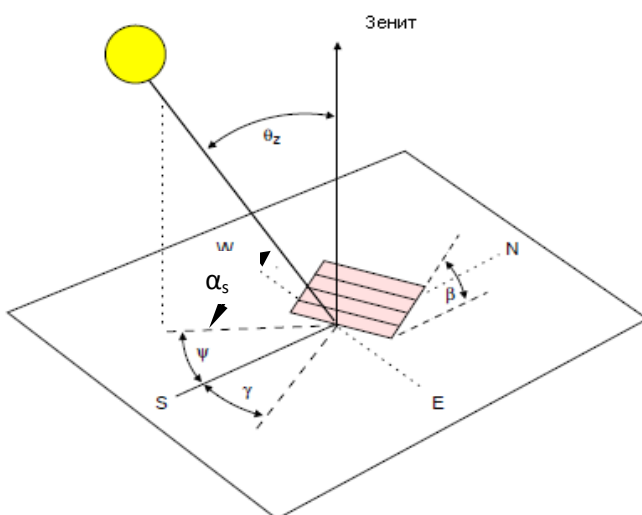
Точната прогноза за реалното производство на енергия от един фотоволтаичен модул за дадено географско място се определя от правилното изчисляване на глобалната слънчева радиация върху наклонена повърхност.

Глобалната слънчева радиация, попадаща върху произволно ориентирана повърхност се състои от *пряка радиация* от Слънцето, *разсеяна* от небето и *отражателна* от земната повърхност.



**Фиг. 2.22. Компоненти на глобалната слънчева радиация**

Изчисляването на отделните компоненти на слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност - *директна* и *дифузна* (разсеяна) - са свързани с основните ъгли, които определят позицията на Слънцето спрямо дадена повърхност -  $\beta$ ,  $\theta_z$ ,  $\theta$ ,  $\gamma$ ,  $\Psi$ . Тези ъгли участват в изчисляването на слънчевата радиация и върху наклонена повърхност.

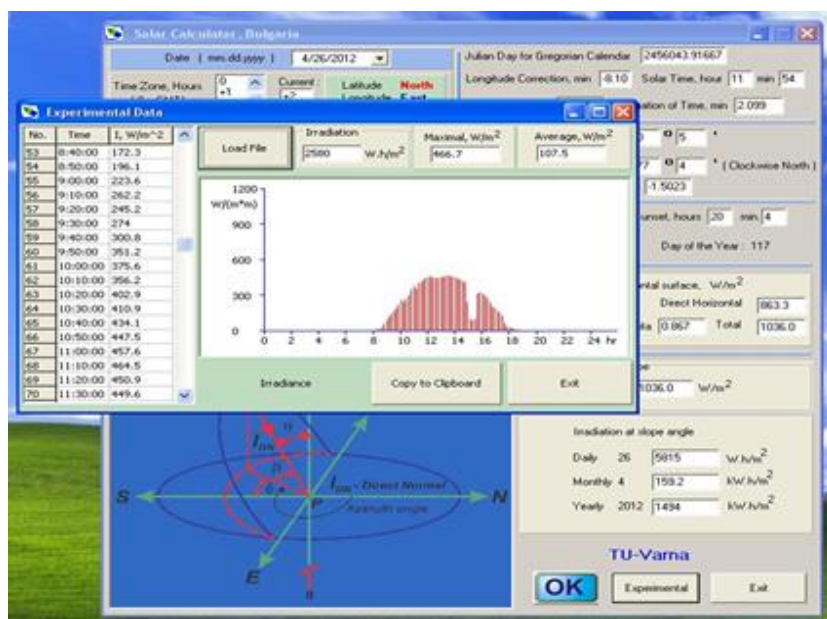


**Фиг. 2.23. Слънчеви ъгли**

$\beta$  - ъгъл на наклона на повърхността;  
 $\theta_z$  - зенитен ъгъл;  
 $\theta$  - ъгъл на наклона на слънчевите лъчи;  
 $\gamma$  - азимута на повърхността;  
 $\Psi$  - слънчевия азимут

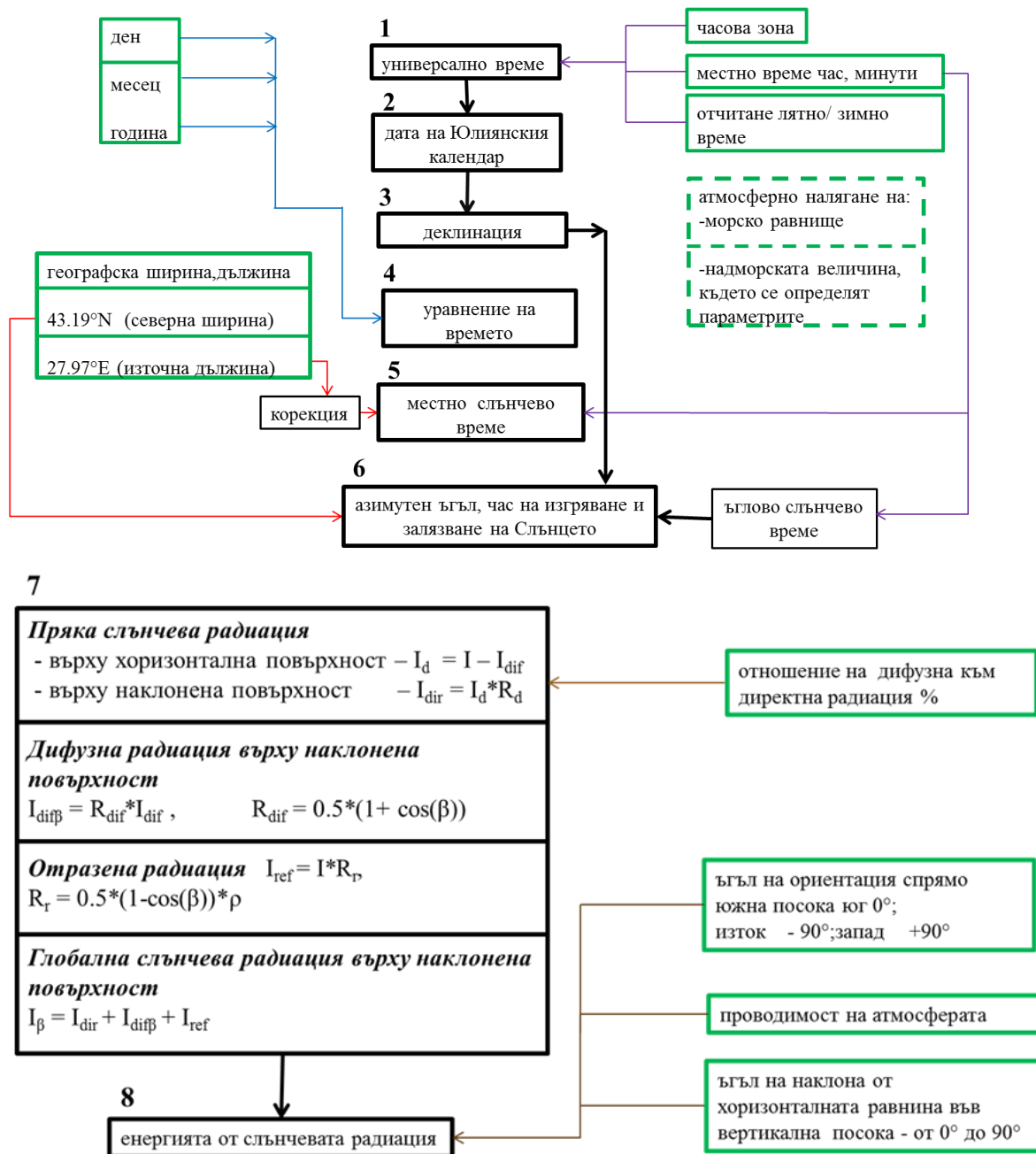
➤ **Необходими входни данни за теоретичния модел**

1. Ден, месец, година.
2. Часова зона (пояс), за Варна + 2 часа GMT.
3. Местно време - час, минути.
4. Отчитане на лятно/зимно часово време.
5. Географска ширина, дължина.  
 за град Варна             $43.1989^{\circ}\text{N}$  (северна ширина)  
                                   $27.9728^{\circ}\text{E}$  (източна дължина).
6. Атмосферно налягане на надморската величина, където се определят параметрите.
7. Атмосферно налягане на морско равнище.
8. Проводимост (спектрална) на атмосферата.
9. Ъгъл на наклона от хоризонталната равнина във вертикална посока - от  $0^{\circ}$  до  $90^{\circ}$ .
10. Ъгъл на ориентация спрямо южна посока  
 юг =  $0^{\circ}$ ;            изток =  $-90^{\circ}$ ;            запад =  $+90^{\circ}$ .
11. Отношение на дифузна към директна радиация, %.



*Фиг.2.25. Схема на разработения софтуерен продукт*





Фиг.2.26.Блок-схема за разработване на теоретичния модел

## 2.5.Изводи

1. Направено е проучване и систематизиране на теоретични данни за почасова и месечна глобална слънчева радиация върху хоризонтална повърхност, средноденонощни и средномесечни температури на въздуха от Фотоволтаична географска информационна система (PVGIS). Направена е оценка на слънчевия

потенциал за град Варна. Показани са месечния и годишния оптимален ъгъл на наклонена повърхност.

2. Реализирано е проучване и систематизиране на статистически данни за дневни и месечни стойности на слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност за град Варна за периода от 01.01.2004 година до 31.12.2004 година съгласно NASA. Систематизирани са данни и за температурата на въздуха за същия период.
3. Представени са данни за продължителност на слънцегреенето за град Варна за 40 годишен период от време (1931 - 1970 година) съгласно БАН.
4. Разработена е методика за определяне на слънчевия потенциал изградена на базата на теоретичен модел и експериментални данни. В методиката, за разлика от досегашните числени методи за определяне параметрите на Слънцето, са въведени процедури, които описват тези параметри с повишена точност.

## ГЛАВА ТРЕТА

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЛЪНЧЕВИЯ ПОТЕНЦИАЛ

#### 3.1. Показатели за измерване на слънчевата радиация

Изследванията за слънчевата радиация са важни за метеоролози, лесовъди, агрономи, географи, енергийни цели и др. От особено значение са данните за слънчевата енергия, която достига до Земята. Те служат за извършване на точни изчисления, чрез които да се намери оптималното местоположение при подбиране на най-подходящата фотоволтаична (PV) система.

Слънчевата радиация в метеорологичните станции се измерва чрез показателите *продължителност на слънчевото греене и интензитет на слънчевата радиация*.

#### 3.2. Уреди за измерване на слънчевата радиация

Измерването на моментните стойности на различните метеорологични елементи се извършва по международно утвърдена методика, като са спазени всички стандарти и препоръки на Световната метеорологична организация.

Продължителността на слънчевото греене се измерва с *хелиограф* - оптичен прибор специфично ориентиран за да проследява дневния ход на Слънцето. Хелиографът е устройство за автоматично регистриране продължителността на слънцегреенето през деня когато Слънцето не е закрито от облаци. Той се изработва в два варианта:

- *обикновен хелиограф* - за измерване в умерените ширини;
- *универсален хелиограф* - за измерване във всички географски ширини.

### 3.3. Използвани уреди за измерване на експерименталните данни

#### ➤ Пиранометър тип LI-COR

Пиранометър LI-200 (фиг.3.5.) е предназначен за измерване на глобалната слънчева радиация в селското стопанство, метеорологията и за изследване на слънчевата енергия. Той е втори клас и калибриран съгласно ISO 9847 за работа при

дневна светлина и допустимата грешка е по-малка от 5%. С такъв пиранометър са осъществени измерванията на глобалната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност в град Варна и получените данни са използвани в настоящата дисертационна работа.



Фиг.3.5. Пиранометър тип LI-COR200

#### ➤ Чувствителни елементи (силициеве сензори)

Високите цени на стандартните пиранометри водят до тяхната замяна със сравнително евтини силициеве чувствителни елементи. Замяната се извършва на базата на висока чувствителност на силициевите клетки, с която реагират на интензитета на сумарната слънчева радиация.

Разработен е чувствителен елемент тип DIY със следните характеристики:

*Размери:*  $\Phi 60 \times 3$  mm /  $\Phi 50 \times 3$  mm;

*Номинално напрежение:* 4.5 V;

*Ток на късо съединение:* 50 mA;

*Водозащитена* (поликарбонат).



Фиг.3.10. Чувствителен елемент тип DIY



Фиг.3.11. Чувствителен елемент тип DIY подобрен модел с термична компенсация



### 3.4. Системи за измерване и регистриране на данни

#### ➤ Система за измерване и събиране на данни - даталогер **Symphonie PLUS**

Даталогерът или регистратор на данни е главният прибор на измервателната мачта и към него се свързват всички сензори. **Symphonie PLUS** е електронно устройство, чрез което се записват данните по време. Той е малък, захранван от батерии, преносим и оборудван с микропроцесор, вътрешна памет за съхранение на данни и сензори. Използването на такъв уред дава възможност за автоматично събиране на данни за 24-часа в денонощието без да се осъществява някакъв надзор.



*Фиг. 3.15. Data logger **Symphonie PLUS** на фирма **NRG***

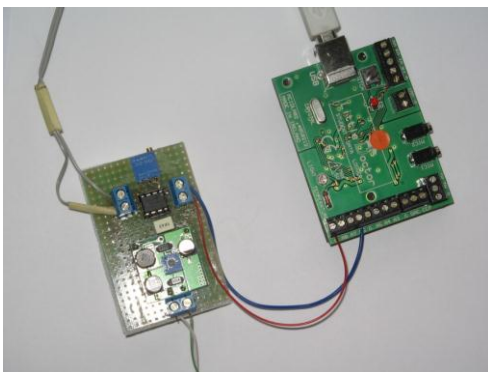
Информацията, която събира дава точна картина на състоянието на околната среда - температура на въздуха, скорост на вятъра, относителна влажност на въздуха, слънчева радиация и др.

#### ➤ Система за комбинирано измерване

Разработена е система за комбинирано измерване на слънчевата радиация, преминаваща през прозоречно стъкло с определени характеристики, осветеност на помещението през светлата част на деня и температура на въздуха в помещението.

Системата се състои от усилвател (лява част) и интерфейсна карта (дясна част). Усилвателят приема първичните сигнали от сензора за регистриране на данни (слънчева радиация), усилва ги и ги изпраща в интерфейсната карта.

Интерфейсната карта е връзката между сензорите и компютъра. В нея са вградени сензори за температура и осветеност. Картата чрез усилвателя, се свързва с външния сензор - калибрирани силициеви клетки - за измерване на слънчевата



радиация, преминала през прозоречното стъкло. Калибрираните клетки са с температурна компенсация. Пренасянето на сигналите от интерфейсната карта към компютъра се осъществява чрез USB (Universal Serial Bus).

*Фиг.3.17. Измервателна система*

### 3.5. Методи за обработка на данни

Наличието на достатъчен обем достъпна, достоверна и навременна информация дава възможност за правилно и точно реализиране на поставената цел в дисертационния труд. От значение е вида и формата на получаване, обработване и съхранение на наличните експериментални данни. Прилагането на правилните методи за обработка на информацията прави получените резултати коректни.

Обработката на експерименталните данни има за цел да преобразува в подходяща форма и вид изследваните параметри - *интензитет на слънчевата радиация и температура на въздуха* в района на град Варна.

Последователността на обработка на експерименталните данни се осъществява в следния ред: регистриране; първична обработка в даталогера, съхраняване и изпращане на имейл адрес; вторична обработка; сортиране; изчисление; обобщение; сравнение, анализ.

### **3.6.Изводи**

1. Използваните уреди за измерване интензитета на слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност и температура на околната среда са стандартизирани и отговарят на съответните изисквания съгласно ISO.
2. Разработени са силициевы чувствителни елементи за измерване интензитета на глобалната слънчева радиация, които са калибрирани с пиранометър от висок клас на точност.
3. Разработена е система за комбинирано измерване на слънчевата радиация, преминала през прозрачна повърхност с определени характеристики, осветеност на помещение през светлата част на деня и температура на въздуха.

## **ГЛАВА ЧЕТВЪРТА**

### **РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕДНОГОДИШНИ ИЗМЕРВАНИЯ СЪС СИСТЕМА, РАЗПОЛОЖЕНА НА ТЕРИТОРИЯТА НА ГРАД ВАРНА**

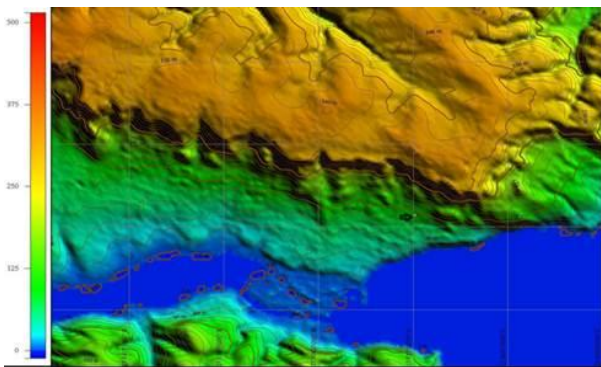
#### **4.1. Обща информация за град Варна**

Град Варна се намира в т.нар. втора зона, за която слънчевата радиация варира от 1450 до 1500 kWh/(m<sup>2</sup>.year) и може да се счита, че на територията на града се получава значително количество слънчева енергия. В района на Варна има средно годишно около 2300 слънчеви часа, като през месец юли те са 333, а през месец декември - 74 часа. Сумарната слънчева радиация през месец юли е 19.5-20.0 kcal/cm<sup>2</sup> (226.8-232.6 kWh/m<sup>2</sup>), а през декември 3.0-3.5 kcal/cm<sup>2</sup> (34.9-40.7 kWh/m<sup>2</sup>). Годишната сумарна слънчева радиация е 361 kcal/cm<sup>2</sup> (4198.4 kWh/m<sup>2</sup>), а годишния радиационен баланс - 152 kcal/cm<sup>2</sup> (1767.76 kWh/m<sup>2</sup>). Тези данни дават основание да се счита, че информацията за наличната слънчева радиация за град Варна има голямо практическо значение. Оползотворяването на наличния слънчев потенциал може да става чрез използване на различни технологични възможности.



**Фиг.4.2. Метеорологична мачта на територията на ТУ-Варна за измерване параметри на Слънцето и вятъра**

На територията на Технически университет- Варна е издигната 34 m метеорологична мачта NRG Now System 34 m (фиг.4.2.) производство на фирма NRG. Тя е част от проект „Развитие на специализирана научна инфраструктура за изследване потенциала на Слънцето и вятъра”. На нея са монтирани сензори за измерване скорост и посока на вятъра, температура и слънчева радиация. Регистрацията на данните се осъществява на надморска височина 95 m и географски координати -  $43^{\circ}13.3858'N$ ,  $27^{\circ}56.3065'E$  (фиг.4.3.). Метеорологичната мачта е построена на терен, намиращ се на определено отстояние от съседни сгради (фиг.4.2.) и отсъства влиянието на странично засенчване (фиг.4.4.). При създаването на метеорологичната мачта са спазени и изпълнени всички изисквания на Световната метеорологична организация.

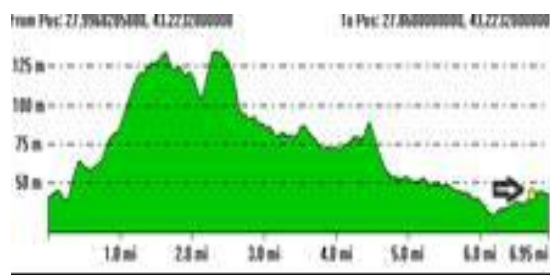


**Фиг.4.3. Географско разположение на метеорологичната мачта**

На мачтата е монтирана регистрираща апаратура с GSM комуникатор, която регистрира ежедневно данните. Захранването с енергия се осъществява от PV модул с мощност 10Wp.

#### **4.2. Резултати от едногодишни измервания на слънчевата радиация**

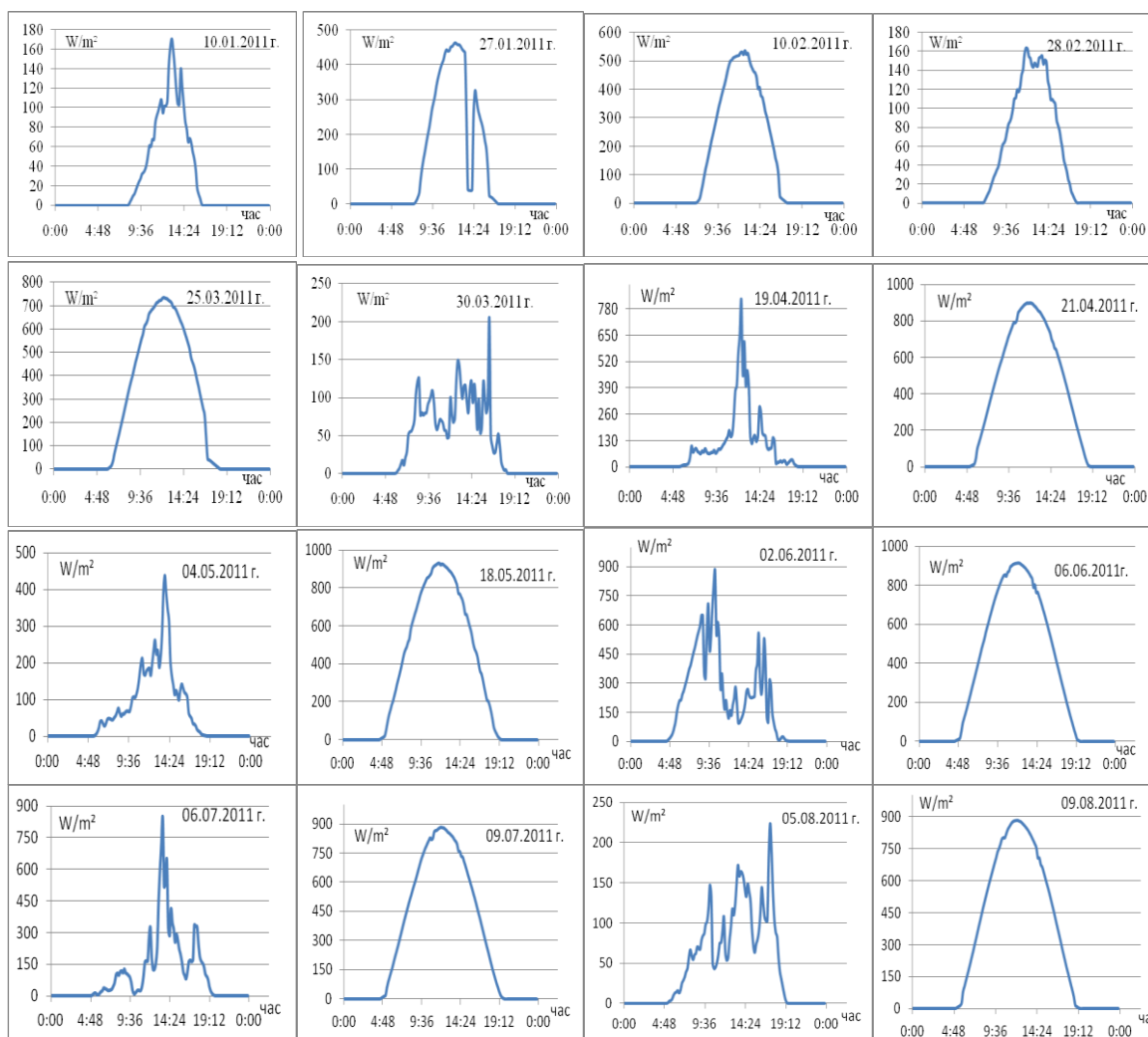
Наличието на експериментални данни за слънчевата радиация се явява най-добрия източник за информация на наличния слънчев потенциал. Осъществено е измерване на слънчевата енергия и температурата на въздуха на територията на Технически университет - Варна за едногодишен период от време 01.01.÷ 31.12.2011 година. Всички регистрирани данни са снети, обработени и отразени в графичен и табличен вид в Приложение. За прегледност в дисертационния труд са показани резултатите за по два дена всеки месец - един ден ясен и слънчев и един ден - облачен и мрачен. В табличен вид са представени следните параметри: продължителност на деня (начало и край);  $I_h$  - глобална слънчева радиация върху хоризонтална повърхност,



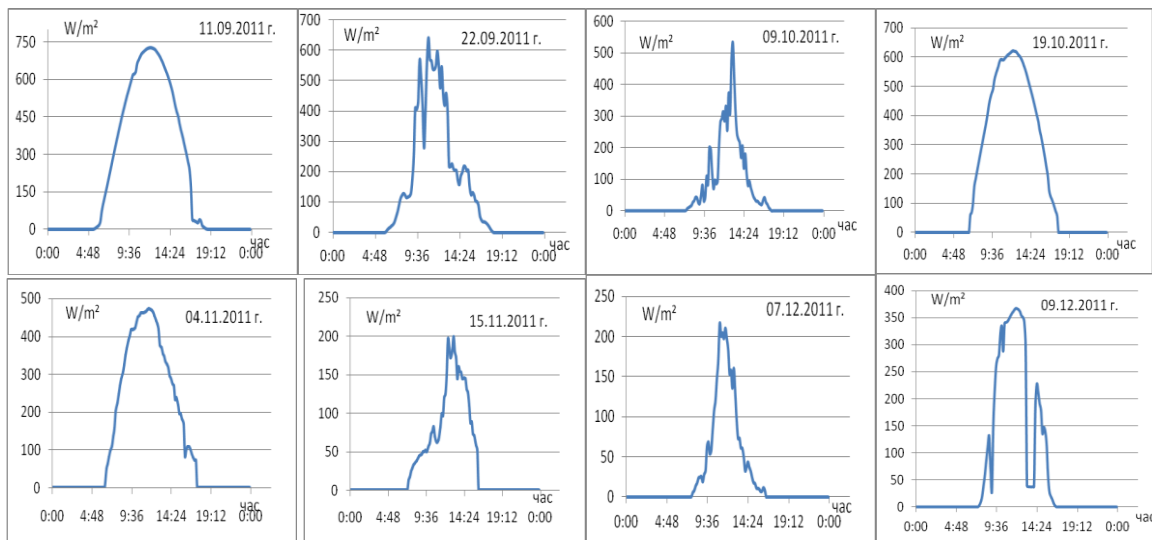
**Фиг.4.4. Засенчване**

Wh/m<sup>2</sup>; I<sub>max</sub> - максимален интензитет на слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност, W/m<sup>2</sup>; I<sub>sr</sub> - среднодневна стойност на интензитета на слънчевата радиация, W/m<sup>2</sup>; t<sub>max</sub> - максимална температура на въздуха, °C; t<sub>min</sub> - минимална температура на въздуха, °C; t<sub>sr</sub> - средноденонощна температура на въздуха, °C. Като резултат от обработката на данните за слънчева радиация в таблицата се предоставя спецификата на деня: чисто небе, облачно или небе с частична облачност. Характерната особеност на деня зависи от коефициента на облачност: при коефициент на облачност по-малък от 40% - денят е ясен, в интервала от 40-50% - частично облачно небе и при коефициент на облачност по-голям от 50% - мрачно небе.

➤ Глобална слънчева радиация по часове

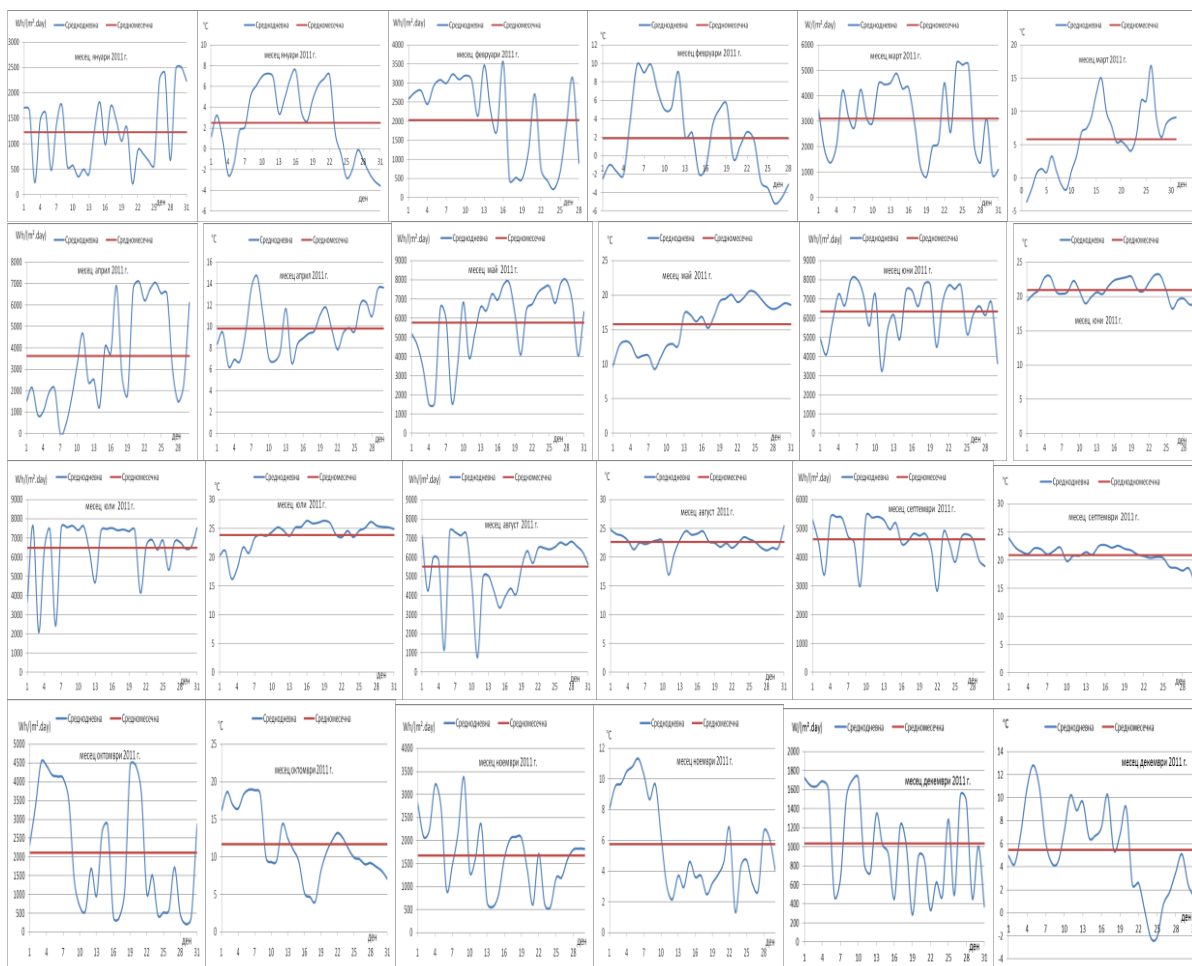






**Часова глобална радиация за отделни дни през месеците на 2011 година**

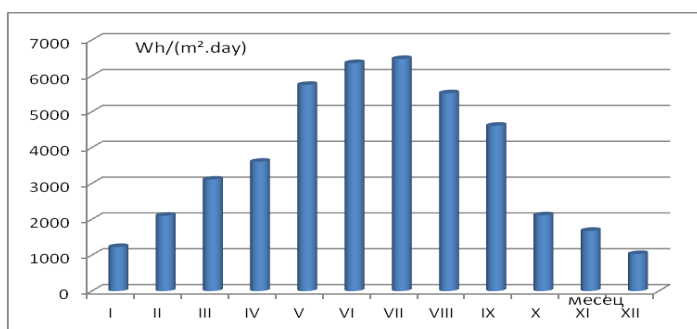
➤ **Месечна глобална слънчева радиация**



**Фиг. 4.17. Месечна глобална слънчева радиация върху хоризонтална повърхност и месечна температура на въздуха**



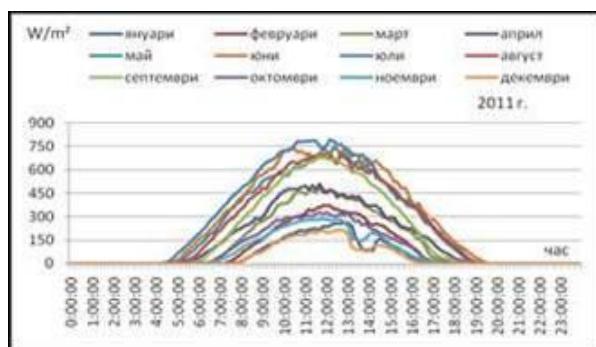
### ➤ Годишна глобална слънчева радиация върху хоризонтална повърхност



**Фиг.4.18.** Годишно изменение на глобалната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност по среднодневни месечни стойности за 2011 година

Съгласно данните от диаграмата на *фиг.4.18.*, максимална средномесечна

глобална слънчева радиация се получава през месец юли - 6473.15 Wh/(m².day). Глобалната слънчева радиация град Варна, в стойностно отношение в интервала от 5000 до 6500 Wh/(m².day), получава през месеците май, юни, юли и август.



**Фиг.4.19.** Годишно часово изменение интензитета на слънчевата радиация

На *фиг.4.19.* е посочено почасовото изменение интензитета на слънчевата радиация на база експериментални данни от месец януари до месец декември 2011 година. Най-голяма е стойността на плътността на слънцегреенето през месец юни и юли в часовия интервал от 04:20 часа до 20:00 часа, а най-малка през месец декември - януари от 07:10 часа до 17:20 часа.

### 4.3. Определяне на слънчевия потенциал при оптимален ъгъл на наклонена повърхност за изследвания район

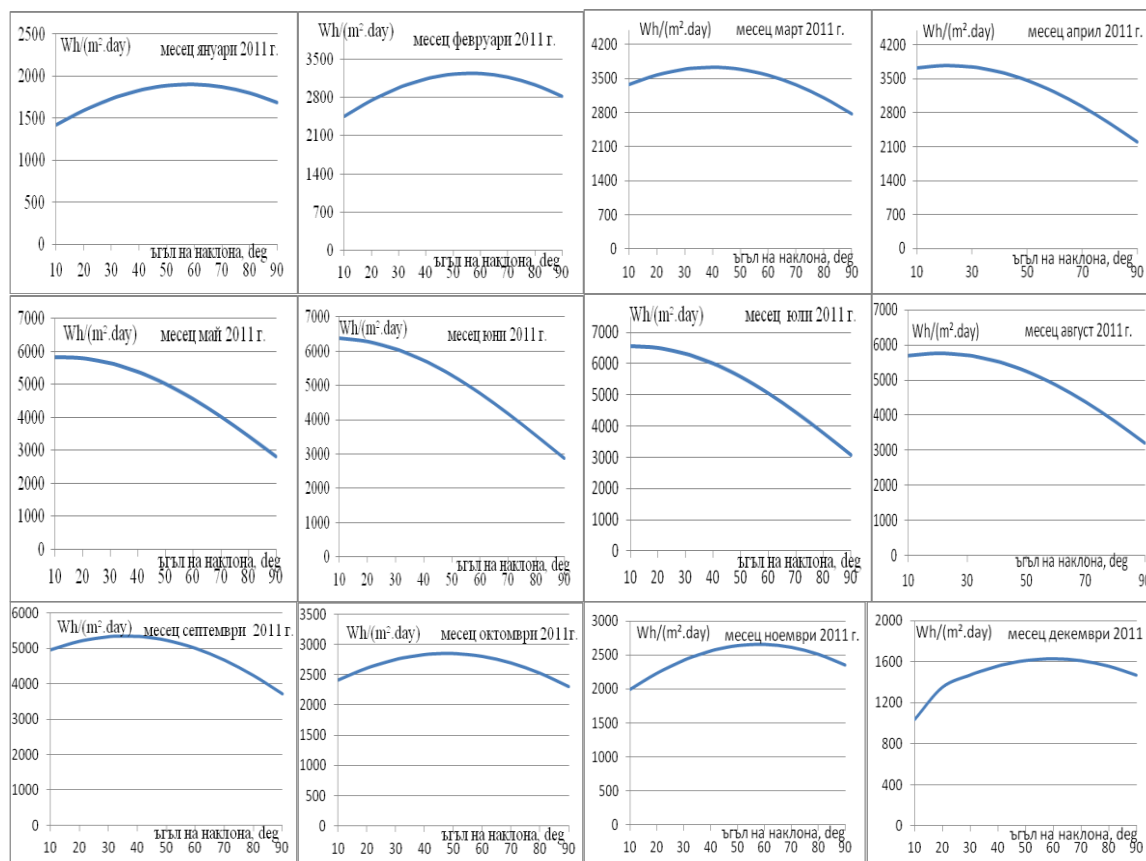
Оползотворяването на максимално възможното количество глобална слънчева радиация, попаднала върху дадена повърхност, зависи от азимутния ъгъл и наклона спрямо хоризонталната повърхнина. Максималната слънчева енергия за наклонена повърхност за района на град Варна се определя от съставлящите я компоненти в следната последователност:

- пряка слънчева радиация върху хоризонтална и наклонена повърхност;
- разсеяна слънчева радиация върху хоризонтална и наклонена повърхност;
- отразена слънчева радиация;
- глобална слънчева радиация върху наклонена повърхност.

Изчисленията за сумарната слънчева радиация се осъществяват при различен наклон на повърхнината от 10° до 90° за периода от 01.01. до 31.12.2011 година.

➤ **Месечен оптимален ъгъл на наклонена повърхност**

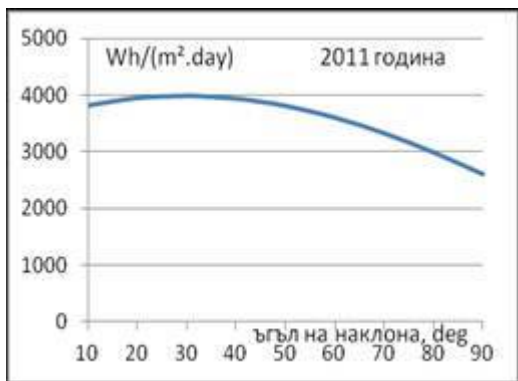
На *фиг.4.32.* и в *Таблица 4.26.* са представени получените резултати за месечния оптимален ъгъл на наклонена повърхност за град Варна. Диаграмите са построени на база среднодневна месечна стойност на слънчевата радиация.



**Фиг.4.32. Обобщен оптимален месечен ъгъл на наклонена повърхност за 2011 година на база среднодневна месечна стойност на слънчевата радиация**

**Таблица 4.26. Месечен оптимален ъгъл на наклонена повърхност за град Варна**

Месец	Опт. ъгъл	$I_{max}$ , kWh/m <sup>2</sup>	$I_{srm}$ , kWh/(m <sup>2</sup> .day)	Месец	Опт. ъгъл	$I_{max}$ , kWh/m <sup>2</sup>	$I_{srm}$ , kWh/(m <sup>2</sup> .day)
<b>I</b>	60°	58.79	1.9	<b>X</b>	50°	88.23	2.85
<b>II</b>	60°	91.02	3.25	<b>XI</b>	60°	79.54	2.65
<b>III</b>	40° 43°	115.54 115.41	3.73 3.72	<b>XII</b>	60°	50.58	1.63
<b>IV</b>	20°	109.581	3.78	<b>Годишен</b>	<b>30°</b>	<b>1 454.124</b>	<b>3.99</b>
<b>V</b>	10°	181.08	5.84				
<b>VI</b>	10°	191.60	6.39				
<b>VII</b>	10°						
<b>VIII</b>	20°						
<b>IX</b>	33°						



**Фиг.4.34. Оптимален годишен ъгъл на наклонена повърхност на база среднодневна стойност на слънчевата радиация**

Оптималното количество слънчева радиация за едногодишния период на изследване, съгласно *фиг.4.34.*, се получава при оптимален ъгъл на наклона  $30^{\circ}$  и е  $1454.12 \text{ kWh/m}^2$ . От същата диаграма е ясно, че данните за слънчевата радиация при  $20^{\circ}$  и  $33^{\circ}$  са близки по стойности и са съответно:  $1441.46 \text{ kWh/m}^2$  и  $1451.9 \text{ kWh/m}^2$ . Оптималният ъгъл на наклона за изследвания район - Варна - се получава  $30^{\circ}$  (*Таблица 4.26.*).

#### **4.4. Пасивно използване на слънчевата енергия**

Оползотворяването на слънчевата енергия може да се осъществи пасивно и активно.

Активният метод за усвояване енергията на Слънцето е свързан с използването на енергопреобразуващи съоръжения за производство на топлинна, студова и електрическа енергия и „светлина“. Активната слънчева енергия директно се превръща в приложима форма чрез различни термосоларни технологии.

Пасивното оползотворяване енергията на Слънцето позволява с минимални инвестиционни разходи да се осигурят нуждите от осветление и енергия за отопление или охлаждане чрез прилагане на основните термодинамични и физични закони.

##### **➤ Пасивно отопление**

Пасивните системи са системи, които абсорбират слънчевата енергия директно в сградата за отопление на място и така се намалява зависимостта от системи за отопление. Или този метод се отнася към определени строително-технически, конструктивни, архитектурни и интериорни решения. Методът намира своето приложение в жилищни и обществени сгради и осигурява необходимите светлина, топлина и вентилация за поддържане параметрите на микроклимата в помещенията.

Пасивното използване на слънчевата енергия за тези нужди е свързано с определяне на подходящата ориентация на сградата, в зависимост от специфичните параметри на слънчевото греене за района, обща архитектура, вътрешно разпределение на помещенията в сградата, типът и видът на остъклените елементи в нея или „пасивен слънчев дизайн“. Като част от ограждащата конструкция на сградите, правилният избор на прозорец или остъкляване в комбинация с добре проектирана и качествено изпълнена стенна топлоизолация, може да намали годишната потребна електроенергия с 30 до 60% и така да се гарантира високо ниво на енергийна ефективност на сградата.

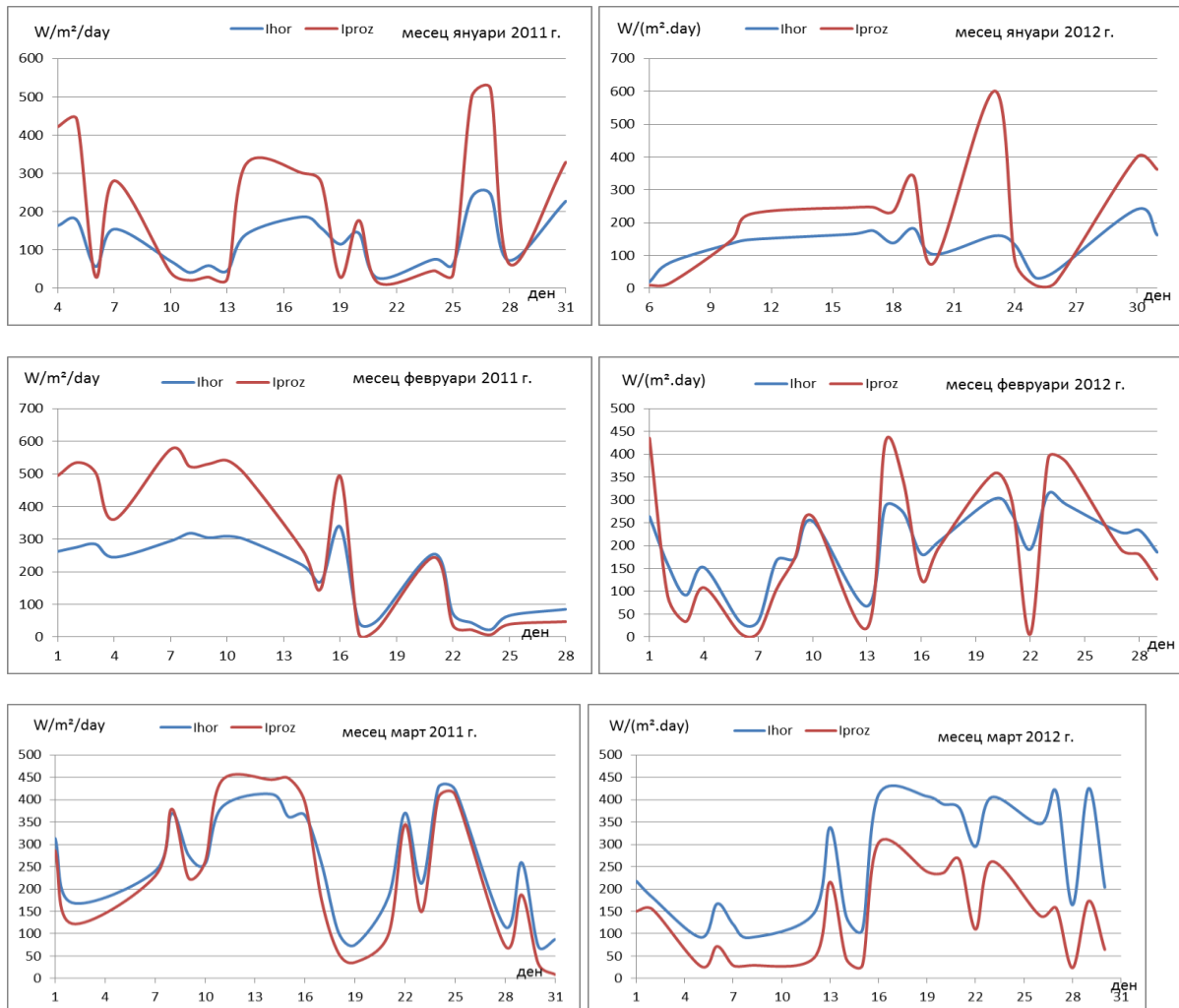
С разработената измервателна система, *фиг.3.17.*, в продължение на месеците януари, февруари и март 2011 и 2012 година, са измерени плътността на слънчевата радиация, преминаваща през прозорец на работен кабинет, температурата на въздуха и нивото на осветеност на кабинета. Помещението се намира на четвърти етаж на административна сграда с южно изложение и размери: дължина 6.17 m, ширина 2.85 m и височина 3.2 m. В работния кабинет има монтирано радиаторно водно отопление ( с десет ребра) и климатик „Найег”. Прозорецът е тип PVC и се състои от 5 двуслойни стъклопакета с размери:

два стъклопакета -  $a = 1.24 \text{ m}$ ,  $b = 0.57 \text{ m}$ ,  $f_1 = 0.7068 \text{ m}^2$ ,  $F_1 = 1.4136 \text{ m}^2$  ;

два стъклопакета -  $a = 0.865 \text{ m}$ ,  $b = 1.515 \text{ m}$ ,  $f_2 = 1,31 \text{ m}^2$  ,  $F_2 = 2.62 \text{ m}^2$  ;

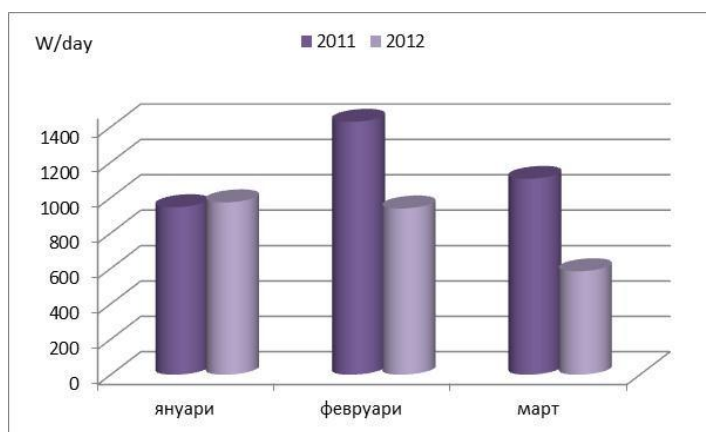
един стъклопакет -  $a = 1.42 \text{ m}$ ,  $b = 0.57 \text{ m}$ ,  $F_3 = 0.8094 \text{ m}^2$ .

### ➤ Експериментални месечни данни 2011/2012 година



**Фиг.4.50. Дневно разпределение на слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност  $I_{hor}$  и слънчевата радиация, преминала през стъклопакета  $I_{proz}$**

Фиг.4.51. илюстрира количеството слънчева радиация, която преминава през прозореца в експерименталното помещение през месец януари, февруари и март 2011 и 2012 година. След извършване на съответните изчисления се получават следните резултати: през месец януари 2011/2012 година през стъклопакета на помещението преминава общо 18928/14610W топлина за двадесет/петнадесет експериментални дни от месеца в продължение на 128.8/101.9 часа. Като среднодневна месечна стойност на слънчевата радиация за месец януари се получава 946/974 W/day. През месец февруари експерименталните дни са двадесет/двадесет и два и съответно 142.98/161.96 часа продължителност на изследването. За този период от време в помещението прониква общо 28579/2066 W слънчева топлина или 1429/939 W/day среднодневна месечна стойност. През месец март експериментите се осъществяват в продължение на двадесет и два/двадесет и един дена или общо 153.14/155.3 часа. През този месец общото количество топлина проникнала в помещението възлиза на 25222/12275 W или 1107/585 W/day като среднодневна месечна стойност. Сравнявайки получените данни се вижда, че по-голямо количество слънчева радиация преминава в помещението през месец февруари и март 2011 година.



**Фиг.4.51. Слънчева радиация, преминала през стъклопакета**

#### 4.5. Изводи

1. В резултат от проведеното изследване са представени данните за часовата глобална слънчева радиация върху хоризонтална повърхност за периода от 01.01.2011 г. до 31.12.2011 г. за град Варна в графичен и табличен вид. На базата на тези експериментални данни е определена спецификата на всеки ден - ясен, облачен или мрачен. Въпреки това, че през 2011 година 258 дена са облачни 162 и с частична облачност 76, годишният коефициент на яснота за град Варна, определен на базата на направените изчисления, е 0.53, което го определя като слънчев град с ясно небе.
2. Графично и таблично е показано месечното изменение на глобалната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност и температурата на околната среда за град Варна за периода месец януари - месец декември 2011 година. Данните потвърждават, че месеци с висок потенциал за град Варна са май, юни, юли и август.

3. Анализирани са данните за годишното изменение на слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност по средномесечни стойности за град Варна за 2011 година, представени в графичен вид. Показано е и часовото изменение плътността на слънчевата радиация. Максималните среднодневни месечни стойности на интензитета на слънчевата радиация за град Варна са от  $745 \text{ W/m}^2$  до  $793 \text{ W/m}^2$  и са регистрирани по обед ( часове от 11:00 h до 13:00 h ).
4. Графично и таблично са представени данни за слънчевата енергия, получена при оптимален дневен, месечен и годишен ъгъл на наклонена повърхност за град Варна за експериментирания период. Оптималният годишен ъгъл на наклонена повърхност е  $30^\circ$ , а получената слънчева енергия -  $3990 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ .
5. Демонстрирано е как пасивният начин на оползотворяване на слънчевата енергия влияе върху отоплението на помещение и неговата осветеност. Изследването е проведено през месеците януари, февруари и март 2011 и 2012 година и показва възможност от средно 31% икономия за енергия за отопление и от 60% до 85% осигуряване на необходимия комфорт (осветеност и температура на въздуха) за работа през часовия интервал от 9:00 h до 16:00 h.

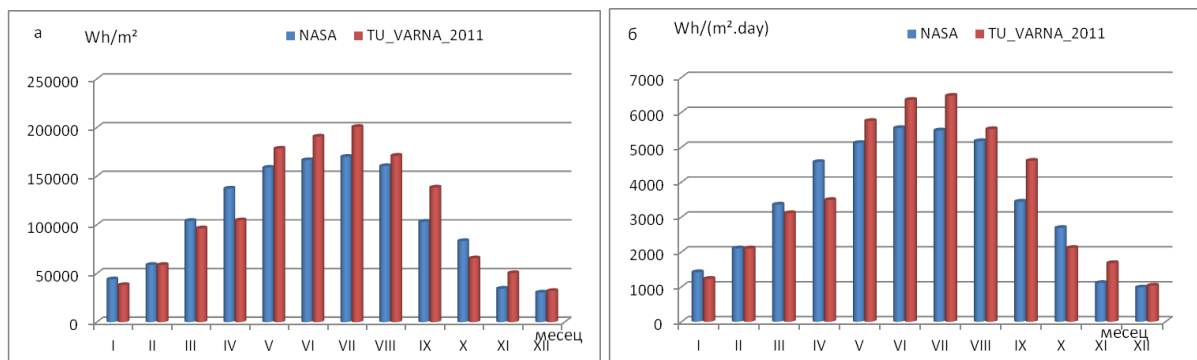
## ГЛАВА ПЕТА

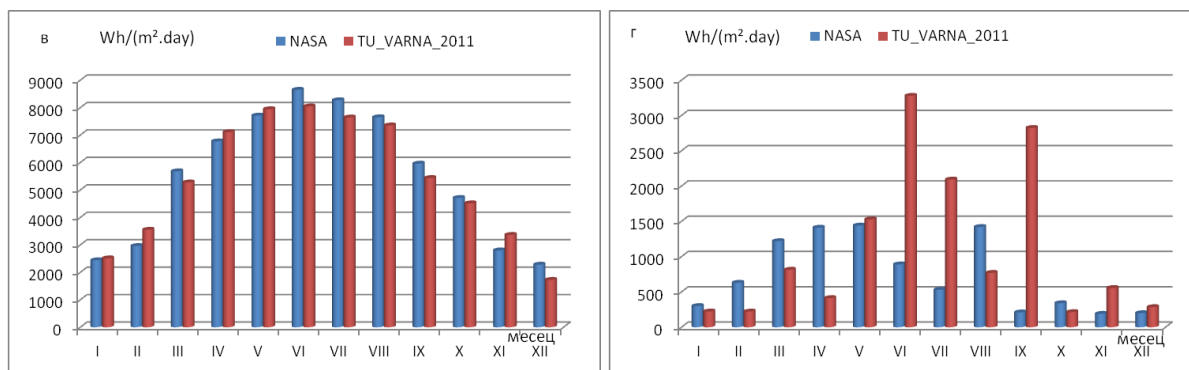
### СРАВНЕНИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ МЕЖДУ ТЕОРЕТИЧНИ И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

#### 5.1. Сравнение между експериментални и статистически данни на NASA за слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност за град Варна

Сравнението на експерименталните данни за слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност със съответните статистически данни на NASA и PVGIS има за цел да покаже достоверността на наличния слънчев потенциал за град Варна. Актуалната информация за слънчевата енергия позволява да се направи правилен избор на високотехнологична система за нейното преобразуване и усвояване. Използването на екологичните слънчеви системи доказва, че енергията на Слънцето е важен и основен източник на енергия.

#### ➤ Сравнение по месечно изменение на слънчевата радиация

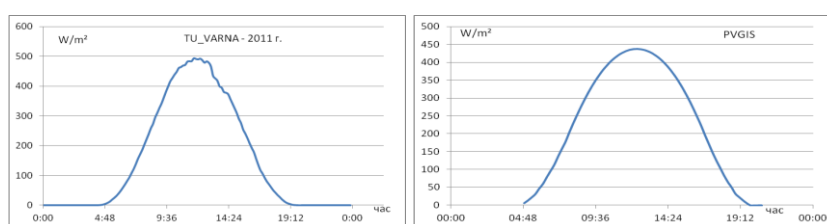




**Фиг.5.2. Сравнение на експериментални резултати и статистически данни на NASA по месечно изменение на слънчевата радиация чрез: а) общомесечни стойности; б)среднодневни месечни стойности; в)максимални дневни стойности; г) минимални дневни стойности**

От диаграмата - *фиг.5.2а*. става ясно, че през месец юли град Варна получава най-голямо количество слънчева енергия -  $200668 \text{ Wh/m}^2$ , съгласно експерименталните данни и  $169880 \text{ Wh/m}^2$  спрямо статистическите на NASA. Максималната среднодневна месечна стойност на слънчевата радиация съгласно NASA е  $5549 \text{ Wh/(m}^2\text{.day)}$  - през месец юни и  $6473 \text{ Wh/(m}^2\text{.day)}$  - през месец юли, съгласно експерименталните данни. През месеците март, юни, юли, август, септември, октомври и декември (*фиг.5.2в*) максималните стойности на слънчевата радиация от статистическите данни са по-високи от тези на експерименталните резултати. Минималните статистически данни през месеците януари, февруари, март, април, август и октомври са по-високи от тези на експерименталните (*фиг.5.2г*).

## 5.2. Сравнение между експериментални резултати и статистически данни на PVGIS за слънчева радиация върху хоризонтална повърхност за град Варна



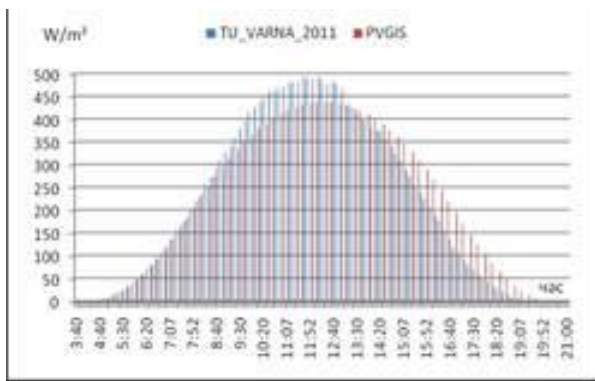
**Фиг.5.4. Средногодишно часово изменение плътността на слънчевата радиация на експериментални резултати и статистически данни на PVGIS**

Часовият интервал на регистрираните експериментални резултати на интензитета на слънчевата радиация в изследвания район е от 03:50 h до 20:50 h. В стойностно отношение средногодишната плътност на слънчевата радиация варира от  $380 \text{ W/m}^2$  до максимална стойност  $492 \text{ W/m}^2$  в часовия интервал от 09:30 h до 14:00h. В съответствие с експерименталните данни, статистическите данни на PVGIS, съгласно диаграмата, са в часовия интервал от 04:52 h до 19:37 h. В интервала от 10:07h до 14:37



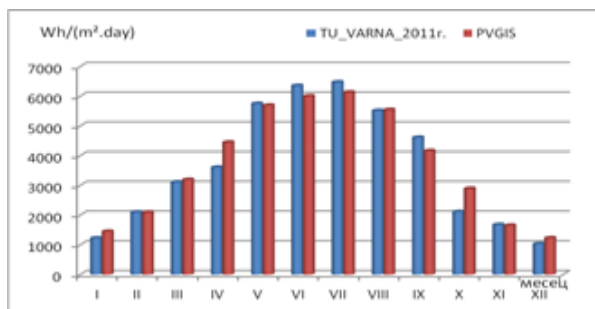
h плътността на слънчевата радиация варира от  $380 \text{ W/m}^2$  до максималната стойност  $437 \text{ W/m}^2$ .

Фигура 5.5. представя сравнението на експерименталните и статистически данни по средногодишно часово изменение на интензитета на слънчевата радиация. От диаграмата е видно, че в часовия интервал от 04:20 h до 08:37 h средногодишните часови стойности са съизмерими, от 08:40 h до 13:22 h експерименталните данни са с по-високи стойности, а в интервала от 13:30 h до 19:40 h - с по-ниски стойности от статистическите данни на PVGIS. Максималната експериментална плътност на слънчевата радиация -  $492 \text{ W/m}^2$  се получава в 11:40 h , а съответната статистическа стойност -  $437 \text{ W/m}^2$  - в 12:22 h.



Фиг.5.5. Сравнение на експериментални резултати и статистически данни на PVGIS по средногодишно часово изменение плътността на слънчевата радиация

### ➤ Сравнение по месечно изменение на слънчевата радиация

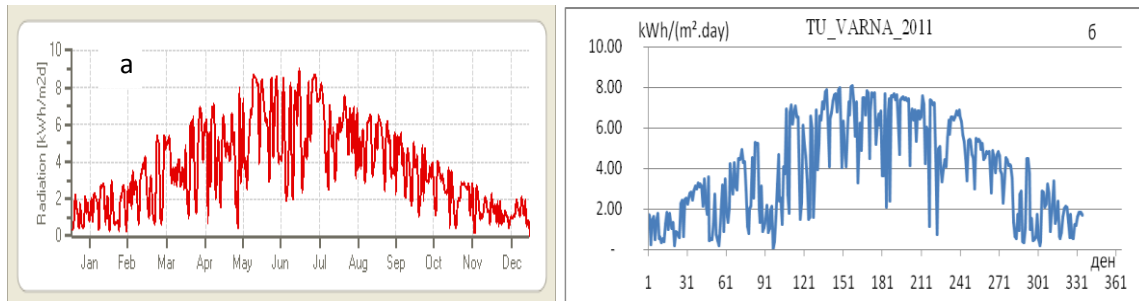


Фиг.5.6. Сравнение на експериментални резултати и статистически данни на PVGIS по месечно изменение на слънчевата радиация

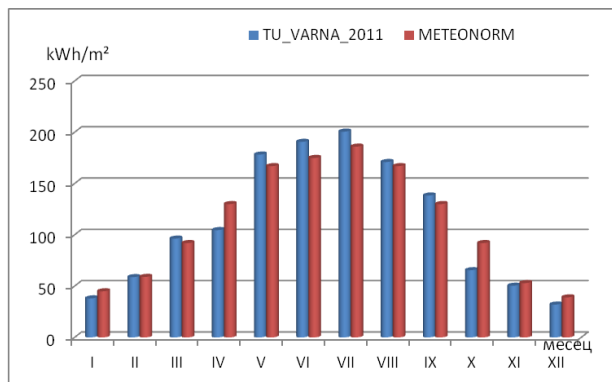
Фиг.5.6. представлява сравнение на месечните експериментални резултати и статистическите данни на PVGIS за слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност за град Варна. Стойностите са съизмерими през месеците февруари, март, август и ноември. През месеците май, юни, юли и септември експерименталните данни са с по-високи стойности, което показва, че през тези месеци на 2011 година времето е било слънчево, ясно и топло. През останалите четири месеца - януари, април, октомври и декември - статистическите данни съгласно PVGIS са с по-високи стойности, като разликата през месеците януари и декември е в порядъка на  $220 \text{ Wh/m}^2$ , а през месеците април и октомври - от  $780 \text{ Wh/m}^2$  до  $840 \text{ Wh/m}^2$ .



### 5.3. Сравнение на експерименталните резултати и данните от програма METEONORM



Фиг.5.9. Сравнение по среднодневно изменение на слънчевата радиация върху хоризонтална повърхност: а) програма METEONORM; б) експериментални резултати

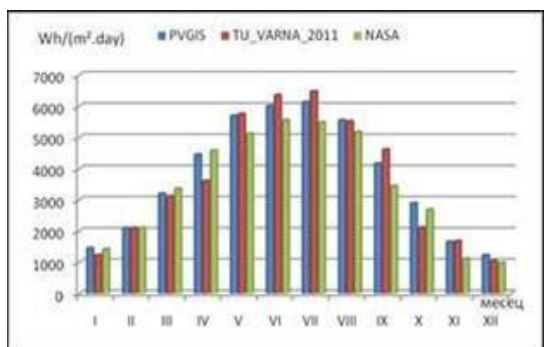


Фиг.5.10. Сравнение на експериментални данни и данни по програма METEONORM

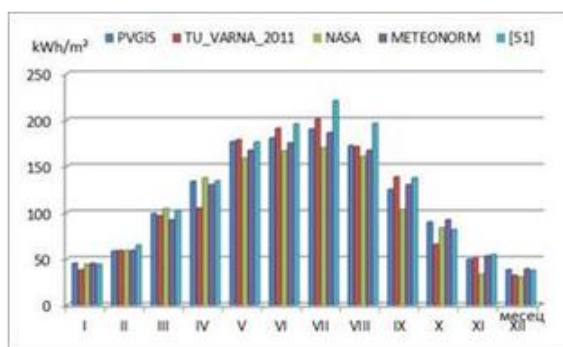
През месеците март, май, юни, юли, август и септември експерименталните данни за глобалната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност са по-високи по стойност от тези съгласно програма METEONORM - от 2.3% ( месец август) до 8.2% (месец юни). Данните за месец февруари и ноември са съизмерими - стойностите на данните по програма METEONORM са по-високи от експерименталните с 0.4% (месец февруари) и 4.9% (месец ноември). През останалите месеци - януари, април, октомври и декември експерименталните резултати са с по-ниска стойност от 15.6% (януари) до 28.8% ( октомври).

### 5.4. Сравнение на експерименталните резултати и статистическите данни на PVGIS, NASA, програма METEONORM и БАН за град Варна

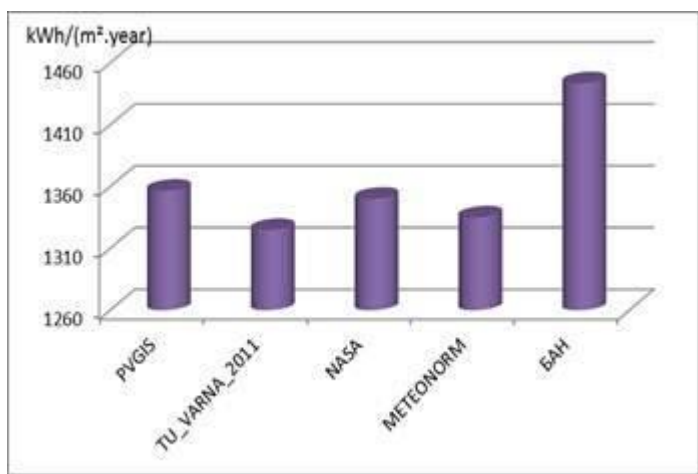
Фиг.5.11. илюстрира сравнение на експерименталните резултати и статистическите данни съгласно PVGIS и NASA на слънчевата радиация за град Варна по среднодневни месечни стойности.



**Фиг.5.11.** Сравнение на експериментални резултати и статистически данни, съгласно PVGIS и NASA



**Фиг.5.13.** Сравнение на експерименталните резултати и статистическите данни на PVGIS, NASA, METEONORM и БАН за слънчевата радиация за град Варна

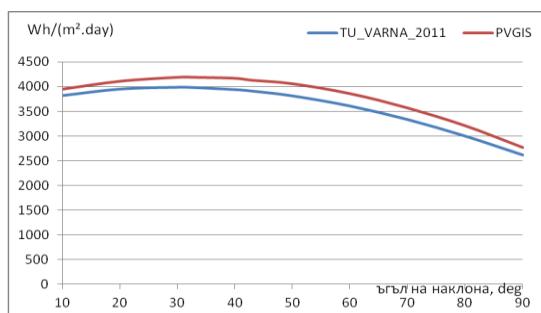


**Фиг.5.14.** Сравнение на експерименталните резултати и статистическите данни на PVGIS, NASA, METEONORM и БАН за годишната слънчевата радиация за град Варна

Количеството слънчева радиация, получавана годишно от град Варна, е в стойности както следва: 1444 kWh/m<sup>2</sup> - БАН, 1357 kWh/m<sup>2</sup> - PVGIS, 1335 kWh/m<sup>2</sup> - METEONORM, 1325 kWh/m<sup>2</sup> - ТУ- Варна и 1350 kWh/m<sup>2</sup> - NASA.

### 5.5. Сравняване на слънчевата енергия, получена от наклонена повърхност между експерименталните данни и тези от PVGIS

#### ➤ Годишен оптимален наклон



**Фиг.5.17.** Сравнение на оптималния годишен ъгъл на наклонена повърхност между експериментални резултати и статистически данни на PVGIS

Годишният оптимален ъгъл на наклонена повърхност, съгласно данните на PVGIS, е  $30^\circ$  и  $33^\circ$ , при които се получава едно и също количество максимална среднодневна месечна слънчева енергия за изследвания район  $-4190 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ .

Годишният оптимален ъгъл на наклонена повърхност, съгласно експерименталните резултати, се получава  $30^\circ$  и получената слънчева енергия през експерименталния период от изследвания район е  $3990 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ . Аналогичен резултат се получава и при  $33^\circ - 3985 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ .

## 5.6.Изводи

1. Извършен е сравнителен анализ на дневните и месечни експериментални данни за глобалната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност за град Варна със съответните статистически данни на NASA. Анализът показва, че данните за глобалната слънчева радиация са по-високи от експерименталните през месеците януари (22%), февруари (11%), март (5%), април (19%), октомври (20%) и декември (19%). През останалите месеци експерименталните данни са по-високи: май (4%), юни (6%), юли (7%), август (2%), септември (9%) и еднакви през месец ноември.
2. Показани са резултати от сравнението на часовите експериментални данни за интензитета на глобалната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност за град Варна със съответните статистически данни съгласно „Фотоволтаичната географска информационна система“ (PVGIS). Наблюдава се по-високи стойности на статистическите данни на PVGIS за интензитета на слънчевата радиация в часовия интервал от 7:00h до 9:00h (от  $12 \div 22\%$ ), по-високи стойности на експерименталните данни от 9:00h до 14:00h (от  $3\% \div 11\%$ ) и по-ниски стойности на експерименталните данни от 14:00h до 19:00h (от  $3\% \div 50\%$ ).
3. Реализирано е сравнение на експерименталните резултати за слънчевия потенциал със статистическите данни на PVGIS, NASA, програма METEONORM и БАН за град Варна. Резултатите показват, че слънчевият потенциал, съгласно експерименталните данни, е по-нисък с 2.4% спрямо данните на PVGIS и с 8.2% на БАН, по-висок с 5.2% от данните на NASA и еднакви с тези на METEONORM.
4. Извършено е сравнение на оптималния дневен, месечен и годишен ъгъл на наклонена повърхност, изчислен от регистрираните експериментални данни със съответните стойности, определени по статистическите данни на PVGIS. От сравнението се вижда, че десет месеца има съвпадение на оптималния ъгъл на наклона и само за два месеца - април и септември - се различава. За месец април оптималният ъгъл е  $30^\circ$  (PVGIS) и  $20^\circ$  (експериментални данни), а за месец септември съответно  $40^\circ$  (PVGIS) и  $30^\circ - 33^\circ$  (експериментални данни).
5. Сравнителният анализ на резултатите показва частично съвпадение и разлики, дължащи се на специфичните метеорологични условия през годината на наблюдение, като максималната разлика е под 10%.

## **ОБЩИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Настоящият дисертационен труд представлява теоретично-експериментална методика за определяне на наличния слънчев потенциал за град Варна. Характерните моменти на дисертацията могат да се свързват със следните:

### **Научно-приложни приноси**

1. Направено е проучване и систематизиране на теоретични данни за слънчевата радиация от Фотоволтаична географска информационна система (PVGIS), Национално управление по въздухоплаване и изследване на космическото пространство (NASA) и БАН за сравняване с експерименталните данни.
2. Регистрирани и обработени са база данни за интензитета на слънчевата радиация и температура на околната среда за град Варна за едногодишен период от време - 01.01. ÷ 31.12. 2011 година, по изискване на стандарта ИЕС-904-3, каквито до сега липсват.
3. Разработен е теоретичен модел за определяне параметрите на слънчевата радиация за град Варна, включващ използване на числени методи за поточно описание параметрите на Слънцето и уточняване на емпиричните зависимости на слънчевата радиация.
4. Регистрирани и обработени са данни за пасивна енергия постъпваща от Слънцето за два поредни отоплителни сезона - 2011г. и 2012 г.

### **Приложни приноси**

1. Създадени са чувствителни елементи на база силициевы клетки за измерване на глобалната слънчева радиация.
2. Създадена е система за комбинирано регистриране на слънчева радиация, преминала през прозрачни повърхности, температура на въздуха и осветеност на помещение.
3. Разработеният теоретичен модел за определяне параметрите на слънчевата радиация може да се използва за всяко географско местоположение. На базата на теоретичния модел и експерименталните данни се коригират емпиричните параметри за мястото на измерване.
4. Разработената програмна система, използваща теоретичния модел и експерименталните данни, с достатъчно голяма точност може да предскаже слънчевия потенциал, с което да се съкрати времето за проектиране на слънчеви енергопреобразуващи системи.

## **Заклучение**

1. Регистрирани и обработени са данни от метеорологична мачта в продължение на едногодишен период от време по изискване на стандарта.
2. Използвана е адаптирана система за измерване и събиране на данни за слънчева радиация.
3. Разработена е методика за калибриране на силициеви чувствителни сензори на база сравнение с данни от еталонен пиранометър.

## **Публикации по дисертационния труд**

1. **Pavlova Irina P.**, Ilija I. Hadzhidimov, Emilian B. Bekov, Silicon sensors for systems for assessment of Sun potential, ICEST, 2010, Ohrid, Macedonia.
2. Фархи О.,И.Хаджидимов,В.Вълчев, В.Павлов, А.Иванов, В.Киряков, Ж.Киряков, **И.Павлова**, Прогнозен слънчев потенциал на Северна България, Списание “Автоматика и информатика”, ISSN 0861-7562, 4/2010, стр.17-20.
3. **Павлова Ирина П.**, Илия И. Хаджидимов, Слънчев потенциал за Варна, май, юни 2010 г., Списание "Електротехника и електроника" ("Е+Е"), ISSN 0861-4717, 2011, 29-33.
4. **Павлова Ирина П.**, Илия И. Хаджидимов, Анализ на ефекта на пасивното слънчево отопление, Списание "Електротехника и електроника" ("Е+Е"), ISSN 0861-4717, 2011, 50-56.
5. **Павлова Ирина**, Определяне на дифузна и пряка слънчева радиация на база слънцегреене, Машиностроителна техника и технологии, ISSN-1312-0859, Варна (под печат).

## Abstract

The development of power generation and consumption in Bulgaria is connected with the usage of ecologically clean technologies in the powergeneration sector of with renewable energy resources.

The present dissertation is focused on the usage of solar energy as inexhaustible, ecologically clean, accessible and suitable for accurate prognosis.

Meteorological data of solar radiation on horizontal surface and the temperature of the environment for a one-year period in accordance with the standard requirements are registered and analyzed.

Sensitive silicon elements that can be used to measure the intensity of the solar radiation are developed.

A system for combined measurement of solar radiation gone through transparent surfaces with specific characteristics, the illumination of premises in the light part of the day and the temperature of the air in the premises has been elaborated.

The result of the elaboration is a theoretic-experimental method for determining the solar potential for an exact geographical position. The basic purpose of the method is to shorten the time for making inquiries of the solar potential needed to create solar energy converting systems. The findings are meant to be used in designing thermal solar heating systems, photovoltaic installations, assessment of the energy efficiency, passive heating, meteorology, etc.

Specifically, the theoretic-experimental method is applied to determine the solar potential of Varna, but also could be used for a random geographical location.

### **Благодарност на хората допринесли за успеха на докторанта**

Изказвам благодарности на научния ми ръководител доц.д-р инж.Илия Хаджидимов, на научния ми консултант н.с. I ст. инж. Венелин Павлов, на ръководството на *Проект № Д002-48/10.12.2008*, на тема:“Развитие на специализирана научна инфраструктура за изследване потенциала на Слънцето и вятъра“.

Специални благодарности на цялото ми семейство за търпението и съпричастността им към работата ми.