

**БУРГАСКИ СВОБОДЕН УНИВЕРСИТЕТ –
ПРОИЗВОДИТЕЛ НА ЕНЕРГИЯ**

Елдар Заеров, доц. д-р С. Лецковска, д-р К. Сейменлийски
Бургаски свободен университет

BURGAS FREE UNIVERSITY - ENERGY PRODUCER

Eldar Zaerov, Silvija Letskovska, Kamen Seymenliyski
Burgas Free University

Abstract: *In recent years, with increasing requirements of the European Union for reducing harmful emissions and increasing energy efficiency in public buildings and industrial systems increasingly topical issue is the problem of the generation of electricity from its own power plants using renewable energy sources.*

The purpose of this work is to present part of the results that the collective has received in studies of the potential for electricity production from the roof of Bourgas Free University.

Keywords: *photovoltaic, PV plant, solar energy.*

Анотация: *През последните години с повишаване на изисквания на Европейския Съюз за намаляване на вредните емисии в атмосферата и увеличаване енергийната ефективност на обществени сгради и промишлени системи все по-актуален става проблема за производство на електроенергия от собствени централи, използващи възобновяеми енергийни източници.*

Цел на настоящата работа е да представи част от получените резултати, които колективът е получил при изследвания потенциала за производство на електроенергия от покрива на Бургаски Свободен Университет.

I. Въведение

Падащото на Земята слънчево излъчване има някои основни характеристики, които са важни за определяне на това как то взаимодейства с фотоволтаичния преобразувател или с други обекти. Тези характеристики са: спектрален състав на излъчването; интензивност на излъчването; ъгъл на падане спрямо фотоелектрическия модул; годишно или дневно количество енергия на слънчевото излъчване на определена повърхност.

Тъй като енергията на фотона е обратно пропорционална на дължината на вълната, фотони с висока енергия (синя светлина) имат дължина на вълната, по-малка от тази на червената светлина (с по-ниска енергия). За определяне на енергията на фотоните и електроните вместо джаули е удобно да се използва извън системната единица за енергия електрон-Волт ($1\text{eV}=1.602\times 10^{-19}\text{ J}$). Ако енергията на фотона е в eV, а дължината – в микрометри (μm), то изразът за енергията добива вида: $E=1,24/\lambda$.

Плътноста на потока фотони през единица повърхност за единица време е $\Phi=N/\text{s.m}^2$, където N е броя фотони. Тази плътност е нужна за определяне на броя на генерираните електрони, а следователно и силата на тока, получен от слънчев елемент (фотоволтаик). Ако са известни плътността на потока фотони и дължината на вълната

или енергията им, то за всяка дължина или енергия може да се определи повърхностната плътност на потока излъчване.

Тази плътност е произведение от плътността на потока фотони и енергията на един фотон – $\Phi(h.c)/\lambda$, където h – константа на Планк, c – скорост на светлината.

Повърхността на слънцето (фотосферата) има температура около 6000 К. Фотосферата може с достатъчна точност да се опише с модела на абсолютно черно тяло. Общият поток енергия, излъчена от него може да се определи като се умножи плътността на потока енергия на излъчване с площта на повърхността му, което дава 9.5×10^{25} W. Интензивността на светене на повърхността на Слънцето е аналогична на тази на абсолютно черно тяло при температура 6000 К.

Слънчевото излъчване на границата на земната атмосфера може да се определи с помощта на интензивността на светене на повърхността му (5.961×10^7 W/m²), радиуса (R_{sun}) и разстоянието до Земята. Плътността на потока слънчево излъчване на границата на атмосферата е 1.36 kW/m².

Земята се движи около Слънцето по елиптична орбита, затова разстоянието между тях периодично се изменя, което води до промяна на плътността на потока излъчване (около 3.4%). То се изменя и в резултат на непостоянство на светенето на Слънцето. Най-голяма плътност има през януари, най-малка – през юли. Обикновено тези изменения не са големи, затова при пресмятания, свързани с фотоволтаичните системи плътността се приема за постоянна. Стойностите на слънчевата константа и нейния спектър са приети за стандартни условия AM0 (атмосферна маса 0). Плътността на потока излъчване при условие AM0 е 1.353 kW/m². Докато слънчевото излъчване, падащо на земната атмосфера е относително постоянно, излъчването достигащо повърхността на Земята варира съществено. Осветеността на повърхността на Земята зависи от атмосферните явления, локални изменения в състава на атмосферата, географските координати (ширината) на местността, времето през годината и през деня.

Главно следствие от наличието на атмосфера е фактът, че слънчевото излъчване на повърхността на Земята значително зависи от местоположението. Тези изменения са обусловени от локални ефекти (облаци, сезонни изменения), така и от други ефекти, такива като продължителност на слънчевия ден на определена ширина.

Ефективността на слънчевия елемент на фотоволтаичната система зависи както от интензивността на падащата светлина, така и от спектралния ѝ състав. Въведени са стандартен спектър и повърхностна плътност на потока слънчево излъчване за повърхността на Земята и на границата на атмосферата. Стандартният спектър на повърхността е AM1.5G (G, global – пряко и разсеяно излъчване) или AM1.5D (direct – само пряка радиация). Интензивността на излъчване AM1.5D може приблизително да се оцени като 72% от AM0 (18% – поглъщане, 10% – разсейване). Общият спектър е с 10% по-голям от прекия. При определяне на плътността на потока с тези данни ще се получат стойности около 970 W/m² за AM1.5G. Обаче на практика се ползва стойност 1 kW/m², т.к. е по-удобно за пресмятане и поради това, че падащото излъчване има неголеми изменения. Стандартният спектър извън земната атмосфера се нарича AM0, защото светлината не минава през атмосферата. Обикновено този спектър се ползва при определяне на ефективността на слънчевите елементи за космически апарати.

Плътността на потока енергия, падащ на фотоелектрическия модул зависи не само от плътността на потока на слънчевото излъчване, но и от ъгъла между модула и Слънцето. В случай, когато поглъщащата повърхност и слънчевото излъчване са перпендикулярни, плътността на потока е максимална. При изменение на ъгъла плътността на потока на излъчване се намалява. Съставната на излъчването, успоредна на наклонен модул, се отразява. При проектиране на фотоелектричната система е важно да се знае максималния ъгъл на падане на слънчевите лъчи за дадена местност, т.е. макси-

малната височина на Слънцето на небето в определено време на годината. Слънцето достига максимална височина в средата на деня по слънчево време и тази височина зависи от деклинацията и географската ширина.

II. Анализ на потенциала за добив на енергия от възобновяем източник на покрива на Бургаски Свободен Университет

2.1. Данни за слънчевата радиация, получени от система PVGIS

PVGIS (фотоволтаична географска информационна система) е WEB – базирана система за научни изследвания, демонстрации и географска оценка на слънчевия енергиен ресурс в рамките на интегрираното управление на разпределеното генериране на енергия.

PVGIS съчетава данни от лабораторни изследвания, мониторинг и тестване с географски познания, за да се анализират технически, екологични и социално – икономически фактори на производството на електроенергия от слънчева енергия.

След задаване на географските координати на БСУ в системата PVGIS е избран вариант за месечен отчет (Monthly radiation) за слънчевата радиация – Фиг. 1.

re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/MRcalc.php - Google Chrome

re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/MRcalc.php

Monthly Solar Irradiation

PVGIS Estimates of long-term monthly averages

Location: 42°30'11" North, 27°28'7" East, Elevation: 27 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Optimal inclination angle is: 32 degrees
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	H_h	H_{opt}	$H(32)$	I_{opt}	T_{24h}	N_{DD}
Jan	1420	2140	2140	61	3.3	0
Feb	2140	2930	2930	54	4.5	0
Mar	3510	4290	4290	42	7.7	0
Apr	4780	5200	5200	28	11.1	0
May	6230	6170	6170	14	16.6	0
Jun	6880	6490	6490	9	21.2	0
Jul	7040	6820	6820	13	24.2	0
Aug	6410	6830	6830	24	24.2	0
Sep	4510	5460	5460	39	20.1	0
Oct	2890	3980	3980	52	15.2	0
Nov	1770	2750	2750	61	10.6	0
Dec	1230	1920	1920	63	5.5	0
Year	4080	4590	4590	32	13.7	0

H_h : Irradiation on horizontal plane (Wh/m²/day)
 H_{opt} : Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m²/day)
 $H(32)$: Irradiation on plane at angle: 32deg. (Wh/m²/day)
 I_{opt} : Optimal inclination (deg.)
 T_{24h} : 24 hour average of temperature (°C)
 N_{DD} : Number of heating degree-days (-)

Фиг. 1. Данни за месечните стойности на слънчевата радиация

2.2. Оценка на количеството слънчева радиация, което може да се усвои от съществуваща на покрива на БСУ централа

Получените данни от системата PVGIS са показани в Таблица 1.

Таблица 1

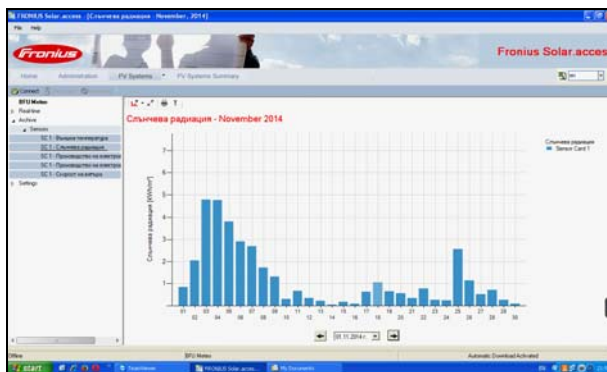
Месец	Август	Септември	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари
Слънч. радиация [kWh/m ²]	211,73	163,8	123,38	82,5	59,52	66,34	82,04

2.3. Данни за количеството слънчева радиация, получени от монтирана на покрива на БСУ метеорологична станция.

Данните от сензорите на станцията се получават в реално време и се обработват чрез софтуерен продукт на Fronius Ltd.(Fronius Solar.access). На Фиг. 2-3 са показани част от получените експериментални данни за радиацията.



Фиг. 2. Данни за количеството слънчева радиация за месец август, 2014 г.



Фиг. 3. Данни за количеството слънчева радиация за месец ноември, 2014 г.

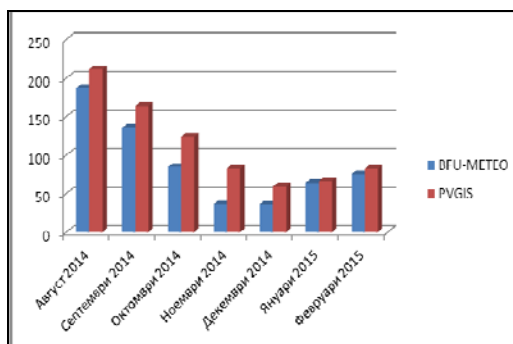
Наличието на метеорологична станция позволява да се получават данни за периоди с различни времеви интервали – за конкретен месец, за ден, за година. Програмата получава данни от сензор за скорост на вятъра – Fronius Wind speed Sensor; сензор за околна температура – Fronius Ambient temperature Sensor; сензор за слънчева радиация – Fronius Irradiation Sensor. Отчита се и произведената електроенергия от съществуващата фотоволтаична централа.

В таблица 2 са показани данни за слънчевата радиация, получени от метеорологичната станция.

Таблица 2

Месец	Август	Септември	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари
Слънч. радиация [kWh/m ²]	187,15	135,17	84,62	36,43	63,85	63,85	75,65

Получените данни бяха сравнени с тези, предоставени от географската информационна система – Фиг. 4.



Фиг. 4. Данни за слънчевата радиация, отчетени с помощта на метеорологичната система на БСУ и PVGIS.

На база на получените резултати от метеорологичната станция може да се изчисли количеството енергия, което може да се получи от един фотоволтаичен панел (238Wp), от панелите на съществуващата фотоволтаична централа (1200 Wp) и от централи с различна мощност, монтирани върху част или цялата площ на покривното пространство на ниво 2-ри етаж на сградата на БСУ – Таблица 3.

Таблица 3

Мощност на панела (Wp)	Енергия (kWh)						
	Август	Септември	Октомври	Ноември	Декември	Януари	Февруари
238	40,09	28,95	18,13	7,80	7,78	13,68	16,20
1200	202,12	145,98	91,39	39,34	39,21	68,96	81,70
2000	336,87	243,31	152,32	65,57	65,36	114,93	136,17
10000	1684,35	1216,53	761,58	327,87	326,79	574,65	680,85



Фиг. 5. Производство на електроенергия при използване на пълната площ на покривното пространство на ниво 2-ри етаж на сградата на БСУ за изследвания период от време

Заклучение

На база на проведеното изследване се установи, че инсталираните на покрива на БСУ фотоволтаични панели с обща инсталирана мощност 1200Wp не са достатъчни за захранване на единичен консуматор, лаборатория в сградата на БСУ, в която се ползват LED-осветителни тела с обща мощност 500W. За нормалното функциониране на системата за осветление са необходими 3 kWp.

От направения анализ и получените резултати за теоретичния потенциал се вижда, че при използване на пълната разгъна площ на покрива на нивото на втория етаж на университета (с обща възможна инсталирана мощност 28,2 kWp – около 120 панела), генерираната електроенергия може да покрие от 2 до 30% от нуждите на сградата на Бургаски Свободен Университет.

Литература

1. Borowy B. S. and Z. M. Salameh, „Optimum Photo-voltaic Array Size for a Hybrid Wind/PV System,” IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 9, No. 3, 1994, pp. 482-488 Iqbal M. T., „Simulation of a Small Wind Fuel Cell Hy-brid Energy System,” Renewable Energy, Vol. 28, No. 4, 2003, pp. 511-522.
2. Celik A. N., „Optimisation and Techno-Economic Analysis of Autonomous Photovoltaic-Wind hybrid Energy Systems in Comparison to Single Photovoltaic and Wind Systems,” Energy Conversion and Management, Vol. 43, No. 18, 2002, pp. 2453-2468. doi:10.1016/S0196-8904(01)00198
3. С. Лецковска и К. Сейменлийски, Laboratory Equipment for Hydrogen Energy Education, ICEST 2014 - XLIX International Scientific Conference, Serbia, Nis, June 25 - 27, 2014