



ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗГРАЖДАНЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНА ЛАБОРАТОРИЯ НА ТЕРИТОРИЯТА НА ВТУ “ТОДОР КАБЛЕШКОВ”

Любомир Секулов, Георги Павлов, Мартина Томчева
res_start@abv.bg, g_pavlov61@abv.bg, martito_666@abv.bg

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
София, ул. „Гео Милев” № 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: *Фотоволтаични панели, соларни панели, соларни модули, фотоволтаични модули, фотоволтаичен стринг, МППТ, зелена енергия, ефективност на фотоволтаици.*

Резюме: *През последните години изграждането на фотоволтаични централи в България се ускори. Технологиите в това отношение напреднаха много, като основната цел е повишаване на производителността, КПД и енергийната ефективност на всички елементи от структурата им. Те имат сложна техническа структура, работеща при всякакви условия с висока степен на надеждност и на практика непрекъснат режим на работа. Затова актуалността на тематиката за проектиране и изграждане на фотоволтаична лаборатория (ФВЛ) на територията на ВТУ е изключително голяма и икономически ефективна. Създават се условия за производство на електрическа енергия от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ), както и възможности за адекватно обучение на студентите от конкретни специалности в тази област. В доклада е разгледано проектирането и изграждането на фотоволтаична лаборатория на покрива на подходящо избрана сграда на територията на ВТУ. Чрез изграждането ѝ се създадат условия за провеждане на експериментални изследвания от студенти и докторанти на основните параметри на ФВЛ.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Проблемът за оползотворяването на слънчевата енергия привлича все повече вниманието на учените и инженерите. Повишеният интерес към този проблем се дължи на неговите перспективи. Има основания да се надяваме, че енергийната индустрия, поне в слънчевите райони на земното кълбо, ще може да се развие до голяма степен чрез пряко преобразуване на слънчевата енергия в други видове енергия. В областта на соларната енергетика е прието да се разграничават три основни показателя, поток или енергия за даден интервал от време; Слънчева радиация (СР) мощност на потока или интензивност; продължителност на слънчевото греене за даден интервал от време. СР е практически неизчерпаем източник на възобновяема енергия на Земята, който многократно превишава ресурсите на всички останали енергийни източници на Земята.

[2]

Енергията на СР зависи от дължината на вълната $E_f = hY$, където h е константата на Планк, $h = 6,62617610^{-34} \text{ Js.}$, а Y е честотата на електромагнитните вълни.

Определена е соларна константа

$$(1) \quad e_0 = \int_0^{\infty} e_{\lambda}(\lambda) dx = \text{const}, \frac{W}{m^2},$$

Съгласно международното споразумение от 1981 г. се препоръчва при изчисленията да се приема $e_0 = 1370, \frac{W}{m^2}$. От друга страна, самият спектър на СР може да бъде разделен по дължина на електромагнитната вълна на три основни области или зони, което е много важно при оценката на ефективността на конкретни соларни енергетични установки:

- в ултравиолетовата област на СР при $0 < \lambda < 0,4 \mu\text{m}$, заемайки около 9% от общия e_0 ;
- в областта на видимия спектър СР при $0,4 < \lambda < 0,7 \mu\text{m}$, заемайки около 45% от цялата e_0 ;
- областта на инфрачервеното топлинно излъчване при $\lambda > 0,7 \mu\text{m}$ заемаща около 46% от общия e_0 .

В същото време фракцията СР за $\lambda > 2,5 \mu\text{m}$ е практически много малка. Счита се, че зоната на e_0 , която обикновено се използва в слънчевата енергия, е ограничена от дължината на вълната λ до $2,4 \mu\text{m}$ (95 % от e_0).

Особено привлекателни са онези начини за използване на слънчевата енергия, при които тя се преобразува директно в електрическа енергия (без предварително преобразуване в топлинна и механична енергия) Известни са три метода за такова преобразуване: термоелектрически, фотоелектрически и фотоволтаичен (PV) [3] [4].

Тези факти показват, че задачата за директно преобразуване на слънчевата енергия в електрическа става реалистична за изграждането на електроцентрали с общо предназначение, като най-важен фактор е ефективността на PV модула.

Определящо за производството на електроенергия, респективно ефективността от PV модулите е географската ширина. За България най-северната точка е устието на Тимок ($44^{\circ}12'45''$ с. ш. $22^{\circ}39'57''$ и. д.), а най-южната връх Вейката ($41^{\circ}14'05''$ с. ш. $25^{\circ}17'18''$ и. д.), област Кърджали.

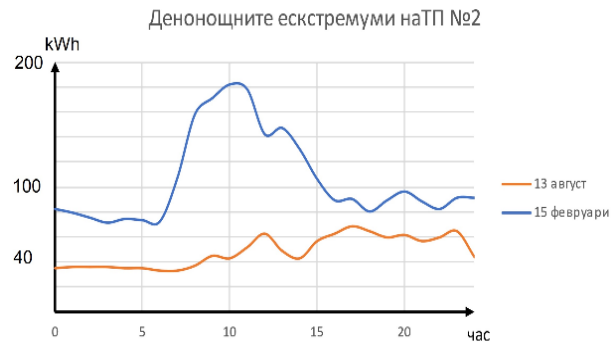
ВТУ "Тодор Каблешков" е разположено на географска ширина 42.679° , т.е. близо до средната географска ширина за България и монтирането на PV модули, както и тяхното изследване на място би дало реална представа за ефективността им. Във връзка с гореизложеното изграждането на ФВЛ е изключително подходящо и то е съобразено с географското разположение и наличния сграден фонд.

ПРОЕКТИРАНЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНО ПОЛЕ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ

Избор на място

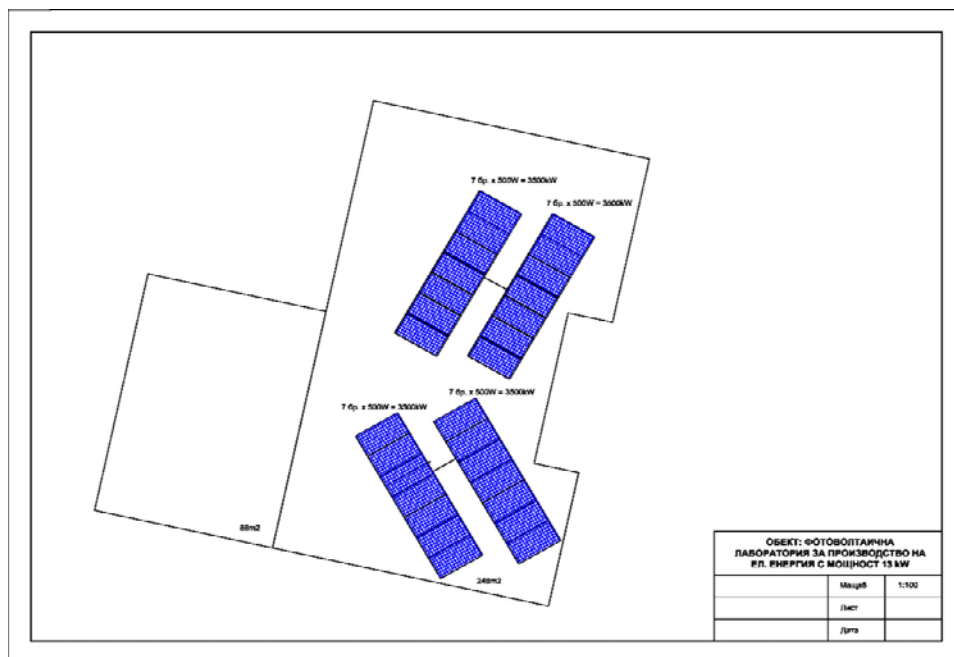
Идеалното място за поставяне на PV масив в Северното полукълбо на Земята е покривът с южно изложение. На територията на ВТУ има много сгради, съответно покривни конструкции, които са подходящи за монтиране на PV модули. Тук модулите не пречат и не заемат място от земната повърхност, ориентирани са към слънцето в пиковите часове на деня и са над много препятствия, които могат да хвърлят сенки върху масива, дървета или сгради. В Северното полукълбо модулет обикновено трябва да е обърнат на юг, а в Южното полукълбо модулите обикновено трябва да са обърнати на север. Модули, обърнати към 30° от истинския юг (или север), ще загубят приблизително 10-15 % от своята пикова мощност. Ако модулет е обърнат на 60° от истинския юг (или север), загубата на пикова мощност ще бъде 20 до 30 %. Не е

проблем, ако покривът не е обърнат на юг; PV системи могат да работят и на покриви с източно и западно изложение, но всяко ориентиране на юг е по-ефективно. За нуждите на ФВЛ е избрана мощност от 15 kWp. Тази мощност е съобразена с денонощния товаров график на ТП№2 показан на фиг.1. За монтажа на PV система с мощност 15 kWp са необходими от 50 квадратни метра, ако покривът е с допустим наклон. Ако покривът е равен или с по-малък наклон тази площ трябва да се умножи с коефициент от 1.5. Също така монтажът на модулите трябва да е съобразен и със следните изисквания:



Фиг. 1. Денонощен товаров график

- Не може да се инсталира модул на разстояние по-малко от 20 до 30 сантиметра от ръба на покрива или от върха на покрива. В някои нормативи на страни по света тази зона на забрана за инсталиране може да се простира до 1 метър от ръба или върха.
- Модулите не трябва да покриват покривни отвори, като например водопроводни отвори, комини и покривни прозорци, въздуховоди.
- Когато модулите се монтират на покривна конструкция, те трябва да бъдат отделени от покрива на повече от 10 см, за да се улесни циркулацията на въздуха и разсейването на топлината.
- Изисква се минимален наклон от 22,5° за инсталации върху покрив за да се поддържа висока пожароустойчивост.



Фиг. 2. Схема на фотоволтаичното поле

За избор на място за монтиране на PV модули с обща мощност до 20kW е изключително подходяща покривната конструкция на ТП№2 (трансформаторна понизителна станция), чийто масивен покрив е с малък наклон и площ 246m². Покривната конструкция е без засенчване целогодишно, което е още едно съществено преимущество. За нуждите на проекта са избрани модули с приблизителни габарити 2100/1050mm и средна мощност на един модул 500Wp. Те ще са разположени в два стринга по 14 модула, като всеки един стринг е разположен на два реда по 7 модула. Показано на фиг. 2. Стринговете са на 120° един спрямо друг и на 60° спрямо Юг т.е. северният стринг е ориентиран източно, а южният западно. Това е съобразено с дневния товаров график на ТП№2. Фиг.1.

Ъгълът на наклона на PV модула се измерва между повърхността му и хоризонталната земна повърхност PV модулът генерира максимална изходна мощност, когато е ориентиран нормално към слънцето.

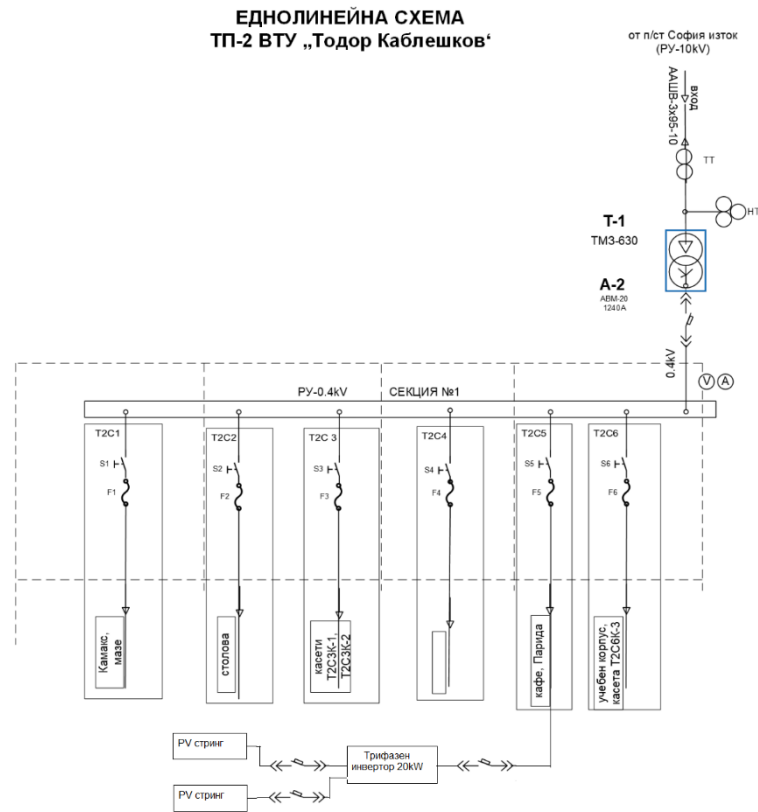
За системи, при които PV модули са прикрепени към постоянна конструкция, наклонът на ъгълът на наклона на PV модулите трябва да се избере така, че да се оптимизира производителността в зависимост от сезонното натоварване и слънчевата светлина. По принцип, ако мощността на PV е достатъчна, когато облъчването е слабо (например през зимата), тогава ъгълът трябва да е подходящ през останалата част от годината. За инсталации, свързани към мрежата, където PV модулите са прикрепени към постоянна конструкция, PV модулите трябва да бъдат наклонени така, че енергията да се производството на енергия от PV модулите да бъде максимално на годишна база.

По аналитичен път са изчислени оптималните годишни добиви при различни наклони на модулите за един стринг от 7kWp. Получените резултати са показани в Таблица 1. От получените резултати в таблицата се вижда че максимален средногодишен добив се получава при наклон на модулите 30°. Отчетени са общи загуби от всички категории 14% [5].

Таблица 1. Средногодишен добив от един PV стринг 7kWp.

Наклон на модула grad	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Месец	АС Енергия (kWh)	АС Енергия (kWh)	АС Енергия (kWh)	АС Енергия (kWh)	АС Енергия (kWh)	АС Енергия (kWh)	АС Енергия (kWh)	АС Енергия (kWh)	АС Енергия (kWh)
Януари	247	248	248	248	249	242	249	249	249
Февруари	381	381	381	380	380	378	379	379	378
Март	440	438	437	435	433	437	429	427	425
Април	546	544	542	539	536	551	531	528	525
Май	652	649	645	642	639	643	632	628	624
Юни	807	802	797	792	787	831	779	775	769
Юли	859	854	849	844	839	907	828	821	815
Август	885	881	877	872	867	912	857	851	846
Септември	658	656	654	652	650	664	645	642	639
Октомври	436	436	435	434	433	432	431	430	429
Ноември	210	210	210	210	210	208	209	209	209
Декември	180	180	180	180	179	181	179	179	179
Общо	6,301	6,279	6,255	6,228	6,202	6,386	6,148	6,118	6,087

Предвижда се използването на мрежови трифазен инвертор с токови външни сензори със следните параметри 18kW и КПД 96%. Електрическата схема на свързване към електрозахранването на ВТУ е показана на фиг. 3. [1]



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изградената ФВЛ ще даде възможност не само за производство на ел. енергия и покриване на загубите на единия от съществуващите ТП, захранващи ВТУ, но ще създаде и условия за разширени експериментални изследвания и анализи свързани с производителността на модулите в зависимост от начина на тяхното свързване и тяхната ориентация. Тези изследвания ще подпомогнат развитието на преподавателите, студентите и докторантите в тази динамично развиваща се област на енергетиката. Ще бъдат разработени цикъл от лабораторни упражнения за повишаване на практическата подготовка на студентите по редица дисциплини включени в учебните планове на катедра ЕЕТ.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Димитров В., Изследване на сензори, специфични за съвременните електрически транспортни средства, Международна научна конференция „КЕИТ–2014”, н. сп. “Механика, Транспорт, Комуникации”, ISSN 1312-3823, том 12, брой 3/2, 2014 г. статия № 1012
- [2] Robert Foster, Majid Ghassemi, Alma Cota “Solar Energy: renewable Energy and the Environment” ISBN 978-1-4200-7566-3

[3] Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. -ЛР № 020528 от 05.06.97

[4] http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_electronics.php

[5] <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PHOTOVOLTAIC LABORATORY ON THE TERRITORY OF TODOR KABLESHKOV UNIVERSITY OF TRANSPORT

Lyubomir Sekulov, Georgi Pavlov, Martina Tomcheva
res_start@abv.bg, g_pavlov61@abv.bg, martito_666@abv.bg

Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.,
THE REPUBLIC OF BULGARIA

Key words: *Photovoltaic panels, solar panels, solar modules, photovoltaic modules, photovoltaic string, MPPT, green energy, photovoltaic efficiency.*

Abstract: *In recent years, the construction of photovoltaic plants in Bulgaria has accelerated. Technologies in this regard have advanced a lot, with the main goal being to increase the productivity, efficiency and energy efficiency of all elements of their structure. They have a complex technical structure, operating in any conditions with a high degree of reliability and practically continuous mode of operation. Therefore, the topic of designing and building a photovoltaic laboratory (PVL) on the territory of VTU is extremely relevant and economically effective. Conditions are being created for the production of electrical energy from renewable energy sources (RES), as well as opportunities for adequate training of students from specific specialties in this field. The report examines the design and construction of a photovoltaic laboratory on the roof of an appropriately selected building on the territory of VTU. Through its construction, conditions will be created for conducting experimental research by students and doctoral students on the main parameters of the FVL.*