

ОПЕРАТИВНА ПОДДРЪЖКА НА ФОТОВОЛТАИЧНИТЕ ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ И СЛЪНЧЕВАТА АКТИВНОСТ

Анатоли Радев, Ангел Манев

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: amanev@abv.bg*

Ключови думи: слънчев цикъл, единица слънчев поток, фотоволтаични модули, полупроводникови материали

Резюме: Обсъждат се границите на изменение на интензитета на слънчевия радиационен поток при дължина на вълната 10.7 cm от 2000 г. до наши дни. Направен е анализ на ефективността на различните типове фотоволтаични модули. В резултат от изследването са дадени указания за изграждане и поддръжка на фотоволтаичните електроцентрали с цел постигане на по-добра икономическа рентабилност.

OPERATIONAL MAINTENANCE OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS AND SOLAR ACTIVITY

Anatoli Radev, Angel Manev

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: amanev@abv.bg*

Keywords: solar cycle, solar flux unit, photovoltaic modules, semiconductor materials

Abstract: The ranges of variation in the intensity of the solar radiation flux at a wavelength of 10.7 cm from 2000 to the present are discussed. An analysis of the efficiency of different types of photovoltaic modules has been carried out. As a result of the study, recommendations for the construction and maintenance of a photovoltaic power plants are provided, aimed at achieving better economic profitability.

Въведение

За целите на проектиране и експлоатация на фотоволтаичните (ФВ) електроцентрали е необходимо добро познаване на климатичните условия и геофизичните характеристики на района, в който ще бъдат изградени. Климатът над територията на България се формира основно под въздействието на циклоничната и антициклоничната дейност, преминаваща над страната. Допълнително влияние оказват постоянните ветрови полета и температурният режим на повърхността на Черно море. Макар тези фактори да не са водещи при формирането на метеорологичното време, те имат съществено значение за ежедневната експлоатация на ФВ електроцентрали.

Атмосферни и слънчеви фактори

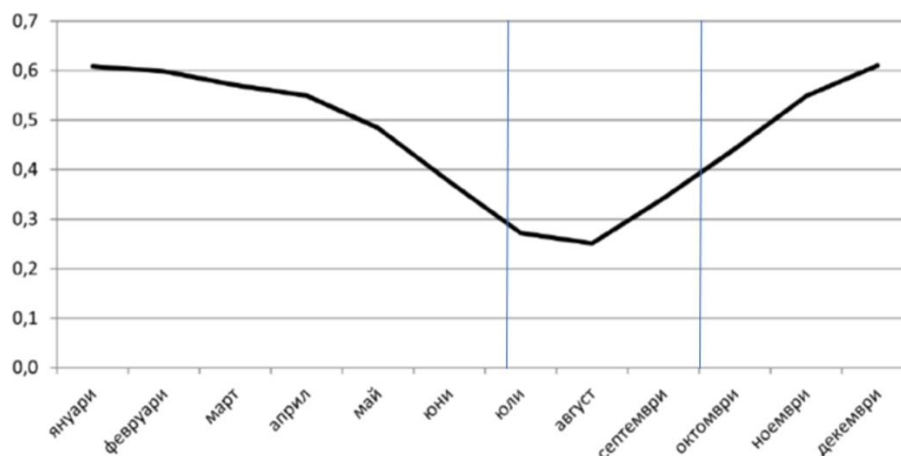
Над България преминават два вида циклони. Тези, които се формират над Азорските острови и тези, които възникват в областта на Средиземно море. Генезисът на циклоналната дейност за сега е тайна за науката. Правят се проучвания за връзката между слънчевата енергия, която се акумулира през лятото в обема на Атлантическия океан и броя на възникналите циклони през следващата година, но тези изследвания още нямат завършен и категоричен вид.

Основните антициклони, които достигат България и формират дълги периоди от време с чисто и ясно небе, са тези, които възникват над азиатската част на Русия. Техният генезис

също е определен с недостатъчна степен на категоричност. Във всеки случай, при анализа на слънчево-земните връзки, свързани с мощността на енергийните потоци от Слънцето, достигащи до повърхността на Земята, трябва да се изследват дните, в които няма циклонална дейност.

С настоящото изследване не се цели да се проследява динамиката на климатичните особености над България или вариациите на метеорологичните промени в детайли. Основният фактор, който определя ефективността на ФВ системи, е динамиката на слънчевата инсолация. За да се открие въздействието ѝ, трябва да се отчетат, само най-значимите фактори, които влияят на нейната големина. Затова се разглеждат само влажността на въздуха, температурата и облачността над България като цяла територия. По този начин ще се открият базови параметри, които да се използват при моделирането на ФВ електроцентрали.

На Фигура 1 е показана графиката, показваща изменението на общата облачност над територията на България, измерена в дялове от небето, покрито с облаци [2]. Данните са от European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) при анализ за периода 1979–2015 г.

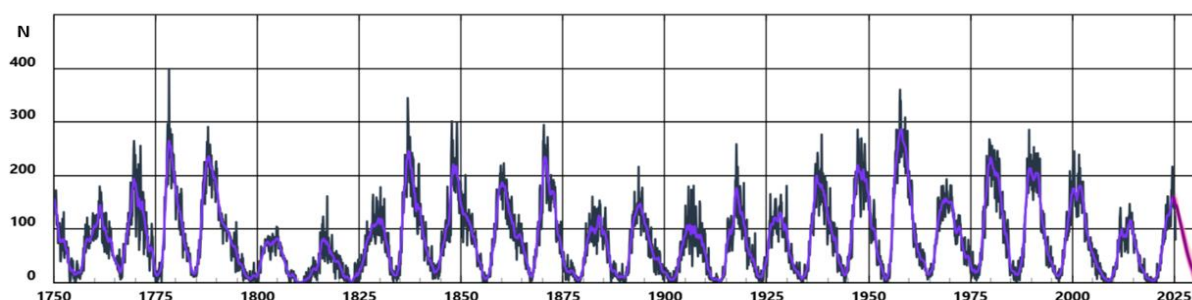


Фиг. 1. Вътрешногодишен ход на общата облачност над България по данни от ECMWF анализ за периода 1979–2015 г. [2]

Пространственото разпределение на продължителността на слънчевото греене в България съвпада до голяма степен с пространственото разпределение на облачността, като районите с по-голяма облачност имат по-малка продължителност на слънчевото греене и обратно. Корелацията между тези два елемента е статистически значима и може да се приеме, че вариациите в облачността определят до около 85-90% от вариациите на продължителността на слънчевото греене [1].

От графиката на Фигура 1 е видно, че в периода 5 юли до 1 септември, облачността е под 0,3. Или може да се предположи, че през този период на много ниско съдържание на облаци над България, ще се проявят най-добре тенденциите в изменението на слънчевата инсолация, с минималното влияние на атмосферата. Тази е причината, поради която, в настоящото изследване се използват данни за слънчевата активност само за период от 88 дни (от 5 юли до 30 септември).

На Фигура 2 е показано изменението на слънчевата активност на базата на броя на слънчевите петна. Данните са придобити от Националната администрация по океани и атмосфера на САЩ (National Oceanic and Atmospheric Administration).



Фиг. 2. Цикличност на слънчевата активност за периода 1750–2025 г. на база брой слънчеви петна [3]

Явна е цикличността на повишаване и спадане на енергийното въздействие на Слънцето. За сега са определени 24 броя, сега сме в 25-ти, слънчеви цикли. Продължителността на всеки цикъл е в границите на 9–14 години. За грубото моделиране се използва, така нареченият „слънчев цикъл“ от 11 години.

Исторически се е наложило слънчевата активност да се изследва според появата на слънчевите петна. Тези наблюдения са отчасти субективни, затова не могат да се използват за точни количествени оценки. Най-достоверни са данните за интензитета на слънчевата активност при дължина на вълната 10.7 cm (индекс F10.7). Такива данни са показани на Фигура 3, също придобити от NOAA. Тази графика е построена чрез усреднените месечни наземни измервания на слънчевата радиация, изразени в единици слънчев поток (sfu).

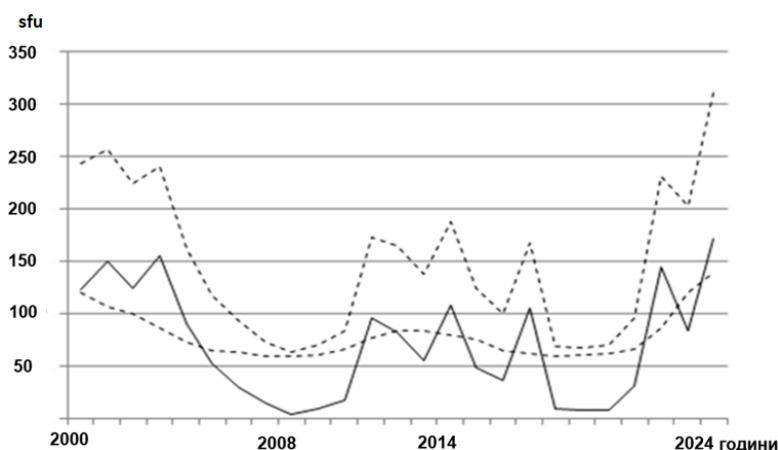


Фиг. 3. Изменение на слънчевата активност през при дължина на вълната 10.7 cm [3]

Базата данни на Световния център за данни по слънчево-земна физика (World Data Center for Solar-Terrestrial Physics) [6] съдържа данните за ежедневните стойности в три формата: непосредствените измервания, калибрираните стойности на измерванията и абсолютните стойности на измерванията. Данните са непрекъснати за периода от 1947 до 2025 г. Но абсолютните стойности, които са най-добри за моделиране, са с прекъсване от 1989 до 1998 г. Това наложи изследването да се ограничи само за периода 2000–2024 г. Този период включва втората половина на 23-ия слънчев цикъл, целият 24-и цикъл и първата половина на 25-ия цикъл.

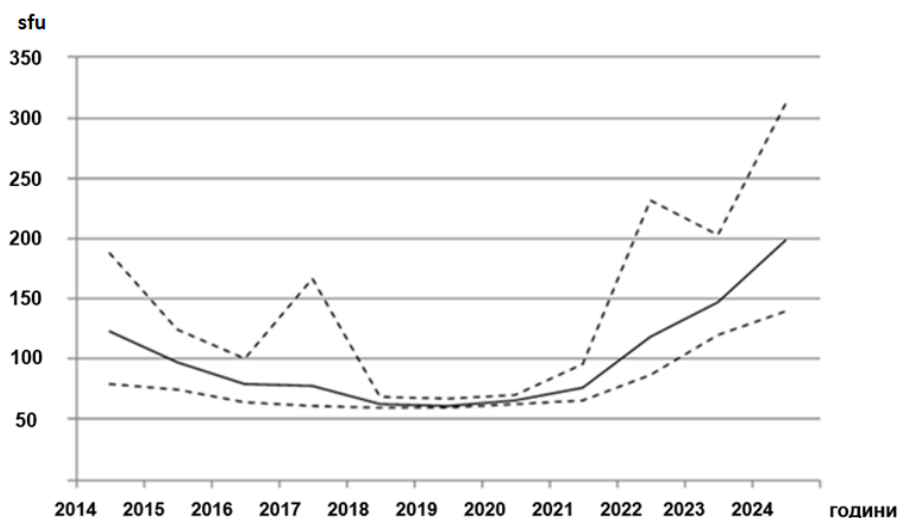
Графиката на фиг. 4 акцентира върху амплитудата на вариациите в слънчевата активност, изразена чрез разликата между минималните и максималните стойности на слънчевия радиационен поток, което отразява дългосрочните флуктуации на слънчевата активност.

На същата фигура са показани както зоната, ограничена от минималните и максималните стойности на слънчевата активност (представени с пунктирни линии), така и динамиката на разликата между дневните максимални и минимални стойности за периода 2000–2024 г. Във времето, когато Слънцето се намира в и около максимума на своята активност в рамките на 11-годишния цикъл, се наблюдава по-голяма амплитуда на вариациите. Обратно – в периодите на минимум размахът на дневните отклонения от средното за годината е значително по-малък.



Фиг. 4. Динамиката на изменението на слънчевата активност за периода 2000–2024 г.

На Фигура 5 е показана зоната на изменение на максимумите и минимумите на слънчевата активност за съответната година от 2014 до 2024 г., представена в интервала, очертан от двете пунктирани линии. Непрекъснатата линия показва средната стойност на слънчевата активност за съответната година. Големите отклонения през 2017 и 2022 г. се дължат на изключително силни слънчеви събития в рамките на тези години.



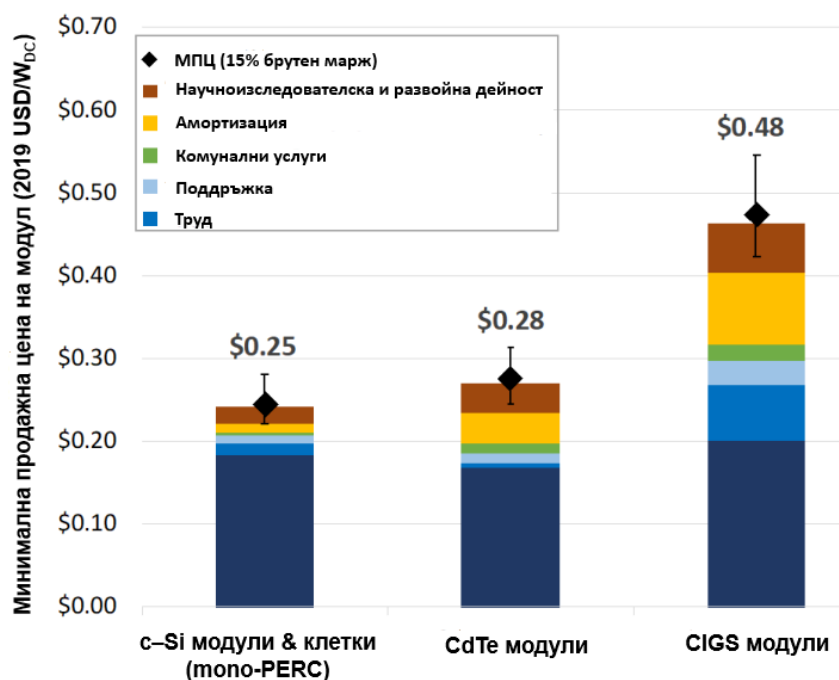
Фиг. 5. Граници на изменение на слънчевата активност за периода 2014–2024 г.

На графиката на слънчевата активност, показана на фиг. 5 много добре се открояват фазите на максимум, спад и минимум, на 24-и слънчев цикъл. Максимумът е около 2014 г., а минимумът около 2019 г.

Доказано е, че данните за слънчевата активност, заедно с климатичните особености на България, могат и трябва, да се използват при проектирането, експлоатацията и планирането на ремонтната дейност на фотоволтаичните електроцентрали в България.

Разликите в полупроводниковите материали при различните типове ФВ клетки водят до различна степен на чувствителност към спектралните промени на слънчевото излъчване. Така например, модулите на базата на кристален силиций (c-Si) и монокристален силиций с пасивиран емитер и задна повърхност (mono-PERC) показват висока стабилност на ефективността при промени в спектралния състав на излъчването и ниска чувствителност в ултравиолетовия (UV) диапазон. От друга страна, тънкослойните модули на кадмиев телурид (CdTe) и медно-индиево-галиев диселинид (CIGS), поради ширината на забранената зона и специфичния си спектрален отклик, проявяват по-голяма зависимост от измененията в UV и инфрачервената радиация. В резултат, енергийният добив на отделните типове ФВ модули се изменя по различен начин по време на слънчев минимум и максимум, като чувствителността към спектралните промени определя техния реален коефициент на полезно действие в различните фази на слънчевия цикъл.

Технологиите, базирани на c-Si, доминират настоящия пазар, като техните минимални продажни цени (МПЦ) са най-ниски. Стойността за mono-PERC са сходни (\$0.25–\$0.27/W) за всички анализирани c-Si технологии. Модулите от CdTe имат малко по-висока стойност на МПЦ (\$0.28/W), а при CIGS тя е значително по-висока (\$0.48/W) [5].



Фиг. 6. Обобщение на МПЦ на модулите на утвърдените фотоволтаични технологии, 2020 г. [5]

За провеждането на настоящите изследвания, освен базата данни от световния център (World Data Center for Solar-Terrestrial) [6], са използвани стандартните пакети на Microsoft Office и безплатните версии на няколко статистически пакети програми като Statistica 7. Всички данни и програмни системи са безплатни и достъпни за нуждите на научните изследвания.

Заклучение

Настоящото изследване демонстрира потенциала на интердисциплинарния подход в инженерната дейност, свързана с проектирането и експлоатацията на ФВ електроцентрали. Познаването на динамиката на слънчевата активност в рамките на един пълен слънчев цикъл позволява оптималното подбиране на типа ФВ модул според конкретната фаза на цикъла, което подобрява ефективността и икономическата рентабилност на системата. По този начин тя може да работи при оптимални производствени мощности, като това води до по-висок енергиен добив и ефективност. Същевременно планирането на ремонтните и обслужващите дейности може да се синхронизира със спада на слънчевата радиация.

Литература

1. Ножаров П. (2015), Съвременни тенденции в режима и разпределението на облачността и слънчевото греене в България, Проблеми на географията, 2015, бр. 3–4, БАН, София
2. Ножаров П. (2017), Пространствени и времеви изменения на климата в България през втората половина на XX век и началото на XXI век, Дисертационен труд за присъждане на научната степен "доктор на географските науки", 2017, БАН, Институт по геофизика, София
3. NOAA-National Oceanic and Atmospheric Administration, Space Weather Prediction Center, <https://www.swpc.noaa.gov/products/solar-cycle-progression>
4. The National Renewable Energy Laboratory (NREL), <https://www.nrel.gov/solar/>
5. The National Renewable Energy Laboratory (NREL), Photovoltaic (PV) Module Technologies: 2020 Benchmark Costs and Technology Evolution Framework Results p. 46
6. World Data Center for Solar-Terrestrial Physics, <http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/flux10.7/daily/>