



ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА МЕТОДА НА “ДИСКОНТИРАНЕ НА ПАРИЧНИТЕ ПОТОЦИ

Адамов А.Й.⁽¹⁾, *Ангелов М.*⁽¹⁾, *Панчев Х.И.*⁽²⁾
hr_panchev@abv.bg

⁽¹⁾МГУ “Св. Иван Рилски“
ул. “проф. Боян Каменов”, 1700 София

⁽²⁾ТУ- Варна
ул. „Студентска“ 1, 9010 Варна
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *Фотоволтаични системи, дисконтиране, електроенергийна ефективност, икономия*

Резюме: *В изследването на електроенергийната ефективност с помощта на регламентирания от ЕС метод “полза-разходи”. Представени са теоретични основи на методиката и е извършена нейната апробация. Конкретните резултати и техния анализ показват приложимостта в реални условия на синтезирания метод и неговата жизненост.*

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Електроенергийната ефективност (ЕЕЕФ) на фотоволтаичните системи (ФВС), се определя в голяма степен от генерираните парични средства, получени като приходи при нейната експлоатация.

С развитието на технологиите, първоначалните разходи за изграждане на ФВС, непрекъснато намаляват, като през 90-те години на миналия век те са били $(8\div 10)$ \$/W. Основните разходи за изграждане на ФВС се формират от следните дейности [1]:

- *Доставка на PV модули и инвертори;*
- *Доставка и изработка на конструкции и консумативи;*
- *Проектиране, съгласуване и присъединяване на ФВС;*
- *Разходи за монтаж;*
- *Разходи за изготвяне на документация за присъединяване;*
- *Разходи за дейности на надзорната фирма;*

Разходите за поддръжка на ФВС по време на експлоатация, са сравнително ниски и включват разходи за ремонт, почистване на панелите, настройка на системата за работа с оптимални параметри, застраховки и др. Тези разходи варират в границите $(20\div 50)$ €/kW.

Основен елемент, от който зависи ефективността на всяка ФВС е фотоволтаичния модул (PV). При избора му трябва да се държи сметка на следните важни негови характеристики:

- *К.П.Д. на панела и неговото намаление с годините;*
- *Живота (експлоатационния ресурс) на PV модула и гаранционния период за безаварийна експлоатация;*
- *Достъпност до сериозно обслужване;*

Осигуряването на средства за успешна реализация на проекта е основна задача на инвеститора. С увеличаването на капацитета и мощността на ФВС, се понижават специфичните разходи за проектиране и монтаж, а също така намалява и количеството на необходимите инвертори, които трябва да бъдат с по-голяма мощност. Набавянето на средства за изграждане на инсталацията се осъществява, като се използват следните източници на финансиране:

- *Собствени средства;*
- *Кредит от банка или друга финансова институция;*
- *Смесено финансиране;*
- *Средства от програми, дарения, спонсори и др.;*

При осигуряване на средства чрез банков кредитиране, от съществено значение е размера на лихвения процент, който зависи право пропорционално от риска на инвестицията. Срокът за погасяване на кредита обикновено е за период, в който се очаква да бъде покрита главницата на заема. За малки ФВС на стойност до 5000 €, срока за погасяване е между 3 и 5 години, а за обекти с по-голяма мощност се препоръчва той да е между 10 и 15 г. Гратисният период, в който все още заема не се изплаща, е за дългосрочни кредити и може да бъде отнесен към главницата или към лихвата.

В Табл. 1. са представени примерни месечни вноски при банков кредит от 20 000 €. Стойността им зависи от лихвения процент S_a [%] и от периода на погасяване [1].

Табл.1. Месечни вноски за изплащане на заем за изграждане на фотоволтаична система

Сума на кредита: 20.000,00 евро		ФВС в малко или средно предприятие					
Вид на вноската: месечна							
Период на погасяване (в години)	Лихвен процент S_a						
	0.5	1	2	3	4	5	6
3	559,85	564,16	572,85	581,62	590,48	599,42	608,44
4	420,93	425,23	433,90	442,69	451,58	460,59	469,70
5	337,59	341,87	350,56	359,37	368,33	377,42	386,66
6	282,02	286,31	295,01	303,87	312,90	322,10	331,46
7	242,34	246,62	255,35	264,27	273,38	282,68	292,17
8	212,57	216,86	225,62	234,59	243,79	253,20	262,83
9	189,42	193,72	202,51	211,54	220,82	230,35	240,11
10	170,90	175,21	184,03	193,12	202,49	212,13	222,04

Ако сумата на кредита е друга, например 30 000 €, с лихвен процент $S_a = 5\%$ и време на погасяване $t = 8$ г., за да се определи месечната вноска, от Табл.1. се намира стойността ѝ за кредит 20 000 €, в случая 253,2 €, тази стойност се умножава по 30 000 и полученият резултат се разделя на 20 000 ($253,2 \cdot 30\ 000 = 759\ 600 : 20\ 000 = 379,8$).

II. Теоретичен подход на изследването

В процеса на реализацията на проекта е необходимо да се елиминира влиянието на времето измерение на стойността на средствата. Затова се въвежда настояща

стойност на паричните средства, представляваща приведената стойност на очаквани бъдещи парични средства или парични потоци, към настоящия момент.

Едно и също количество пари, има различна стойност във времето. Влияещите фактори за това са различни - инфлацията, несигурността, възможностите за инвестиране и др. За оценка на стойността на парите, при отчитане фактора време, се използва метода “дисконтиране”. Чрез него се определя сегашната стойност на бъдещи парични потоци. Настоящата стойност на паричните средства всъщност представлява приведената стойност на очаквани бъдещи парични средства или парични потоци, към настоящия момент. Нетната настояща стойност PV на средствата се изчислява по формулата [1]:

$$(1) \quad PV = \frac{FV_n}{(1+K)^i} = \frac{FV_n}{(1+S_a)^i}$$

където: FV_n - стойност на паричния поток в годината i ; K - лихвен процент за преобразуване на бъдещи парични потоци в текущи; S_a - дисконтова ставка ($S_a=K$).

При дисконтирането на по-рискови проекти, се използва по-висока дисконтна ставка. За оценка на икономическата ефективност на проекта за изграждане на ФВЦ се използват някои от представените по-долу икономически методи [1].

Метод на нетната настояща стойност (Net Present Value - NPV)

Методът дава разликата между настоящата стойност на входящите парични потоци или нетните икономии или приходи (B) и настоящата стойност на изходните парични потоци и разходи (C). Ако продължителността на периода е $T=n$ години и финансовите потоци на паричните средства се получават в края на всяка година, NPV се определя от израза:

$$(2) \quad NPV = \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1+S_a)^i} = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+S_a)^i}$$

където: B_i - нетни икономии или ползи (печалби) от реализацията на проекта, които възникват в годината i , C_i - разходи, които възникват в годината i ; $CF_i = B_i - C_i$.

Метода е изключително полезен за изграждане на ФВС, защото дава възможност да се оценяват печалбите от произведена електроенергия през целия икономически срок на проекта. Критериите за оценка на инвестиционния проект се разглеждат по следната схема:

- $NPV > 0$ - инвестицията ще повиши приходите след реализиране на проекта. Той може да бъде реализиран;
- $NPV < 0$ - инвестицията ще намали приходите. Проекта не бива да бъде реализиран.
- $NPV = 0$ - инвестицията води до неутрален резултат. Необходими са допълнителни анализи.

Основните недостатъци на метода са следните:

- Субективния избор на стойността на ставката S_a ;
- Методът не отразява достатъчно добре влиянието на T ;
- Методът е некоректен при определяне на рентабилността на проекти с различни инвестиции. Например два проекта А и Б с бюджет съответно 100 млн. € и 10 млн. € и съответно приходи 102 млн. € и 12 млн. € имат относително еднакви нетни настоящи стойности.

Методи с вътрешна норма на възвращаемост (Internal rate of return - IRR)

IRR е онзи дисконтов процент, който удовлетворява изискването, сумата на дисконтирания чист паричен поток, минус стойността на инвестицията, да бъде равен на нула:

$$(3) \quad NPV = \sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1+IRR)^i} - \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+IRR)^i} = \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1+IRR)^i} = 0$$

Връзката между IRR, стойността на кредита и дисконтовата норма е следната: ако проекта се финансира с банков кредит, то всяко превишаване на IRR над лихвата на кредита прави проекта печеливш и обратно. IRR трябва да е равен или по-голям от лихвата по банковия кредит. IRR се определя по метода на пробите и грешките или с използването на различни софтуерни продукти.

III. ПРАКТИЧЕСКО ИЗСЛЕДВАНЕ ВЪРХУ ЕЕЕФ НА ФВС

ЕЕЕФ на ФВС може да бъде оценена чрез технико-икономическо сравнение при многовариантно проектиране. В тази връзка може да се използва утвърдения опростен метод за технико-икономическа оптимизация по критерий минимум на приведените годишни разходи (ПГР) [2,3]:

$$(4) \quad Z = C + S_a \cdot I_0$$

където: S_a - реален дисконтов лихвен процент

S_a се определя с помощта на израза [3,5,8]:

$$(5) \quad S_a = \frac{F_n - b}{1 + b}$$

където: F_n - номинален лихвен процент, определен от БНБ; b - коефициент, отчитащ годишната инфлация.

Стойностите на F_n и b , в съответствие с реалната икономическа ситуация в страната са съответно:

$$(6) \quad F_n = 3\% ; b = 6\%$$

В съответствие с (1) се определя:

$$(7) \quad S_a = \frac{0,03 + 0,06}{1 + 0,06} \cdot 100 = 8,49\%$$

Оптимизационната задача изисква сравнение минимум на два варианта:

- I. Вариант**- конвенционална ФВС с мощност 1 MWp, изпълнена с PV модули с к.п.д.=19%, инвертори и всички други необходими съоръжения от среден клас по отношение на качество и технико-икономически показатели. Стойността на инвестицията е $I_{01} = 2\,440\,000$, а годишните експлоатационни разходи в дисконтиран вид са $C_1 = 112\,000$ лв.
- II. Вариант** - ФВС с мощност 1 MWp с PV модули с висока ефективност к.п.д. = 23%, SMART инвертори с широки функционални възможности, система за комуникация и контрол; всички елементи са със повишена надеждност и устойчивост, потвърдено от проектната и приемо-предавателната документация. Стойността на инвестицията е $I_{02} = 2\,760\,000$ лв., а дисконтираните годишни експлоатационни разходи са $C_2 = 26\,300$ лв.

ПГР за I и II вариант съответно:

$$Z_1 = 0,0849 \cdot 2\,440\,000 + 112\,000 = 319\,156 \text{ лв.}$$

$$Z_2 = 0,0849 \cdot 2\,760\,000 + 26\,300 = 260\,624 \text{ лв.}$$

Следователно, ЕЕЕф ΔZ от прилагането на варианта с по-високотехнологични съоръжения, респективно с по-големи първоначални инвестиции е:

$$(8) \quad \Delta Z = Z_1 - Z_2 = 319\,156 - 260\,624 = 51\,532 \text{ лв.}$$

Разликата в сроковете на откупуване между двата варианта се определя от израза:

$$(9) \quad T_0 = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} = 3,733 \text{ r}$$

Следователно, вторият по-скъп, но на по-високо технологично ниво вариант, ще се откупи с почти четири години по-рано от първия по-евтин вариант. В Табл.2 е представен сравнителен анализ на двата варианта.

Вариант	Ию	С ₁	З ₁	Тотк = 3,733 [r]
I вариант	Ию ₁ = 2 440 000 лв.	С ₁ = 112 000 лв.	З ₁ = 319 156 лв.	
II вариант	Ию ₂ = 2 760 000 лв.	С ₂ = 26 300 лв.	З ₂ = 260 624 лв.	
Разлика Δ	Δ Ию = 320 000 лв.	Δ С = 85 700 лв.	Δ З = 51 532 лв.	

Постоянната дисконтирана годишна икономия се определя с помощта на израза [4,6,8]:

$$(10) \quad \Delta C_d = \Delta C (1+S_a)^{-t}$$

където: ΔC - разлика в експлоатационните разходи на двата варианта; t - дискретизация на разглеждания период с продължителност t години.

Чистата дисконтирана печалба (ЧДП) при положение че годишната икономия на експлоатационни разходи е постоянна величина, се определя от израза:

$$(11) \quad \text{ЧДП} = \Delta C \frac{1-(1+S_a)^{-t}}{S_a} - \Delta I_0$$

В Табл.3. са представени стойностите на ΔI_0 , ΔC , ΔC_d и ЧДП за 10 годишен срок на изследване.

Период на дисконтиране t [r]	Разлика в капиталовложенията ΔI_0 [лв]	Постоянна икономия на експлоатац. разходи ΔC [лв]	Дисконтирана икономия на експлоатац. Разходи ΔC_d [лв]	Чиста дисконтирана печалба ЧДП [лв]
1	320 000	85 700	78 993	-241 006
2	320 000	85 700	72 812	-168 536
3	320 000	85 700	67 113	-101 081
4	320 000	85 700	61 864	-39 178
5	320 000	85 700	57 020	17 801
6	320 000	85 700	52 558	70 359
7	320 000	85 700	48 445	118 805
8	320 000	85 700	44 654	194 805
9	320 000	85 700	41 159	204 619
10	320 000	85 700	37 938	242 558

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представения метод на ЕС “полза-разходи” е методика за оценка и прогнозиране на технико икономически показатели на високо технологични и прогресивни ФВС. Апробираната методика показва достоинства на съвременните подходи, създадени на базата на дисконтирането, с помощта на които се извършва еквивалентитане на настоящата стойност на паричните средства към бъдещи парични средства и потоци.

ЛИТЕРАТУРАЛ:

- [1]. Димитров Д., Илиев А., Производство на енергия от покривни ФВС, Гевгелия, Център за климатични промени, 2023
- [2]. Киров Р.М. и др., Изследване на технико-икономическата целесъобразност на система за автоматизирано управление на улично осветление, *Bul Light*, 2010, Варна 2010, ISSN 1341-0787.
- [3]. Киров Р.М. и др., Резултати, тенденции и практически съвети за постигане на електроенергийна ефективност в промишлеността и бита, енергиен форум 2014, сборник доклади, стр 407÷424.
- [4]. Пачамонов А.С., Облъчвателни уреди, ТУ-София, 1998.
- [5]. Василев Н.Н., Късев К., Интелигентно външно осветление с адаптивно управление, С., 2015, ISBN 978-619-160-562-6
- [6]. Готман В.И. и др., Задачи обособявания системы компенсации реактивной мощности, ПЭ. №8, 2006.
- [7]. Василев Н.И., Тошев Б.Г., Правилно ли оценяваме ефективността на уличните ОУ, Габрово 2010.
- [8]. Готман В.И., Критерии оценки компенсации реактивной мощности, *Електричество* 2009, №12

STUDY OF THE ELECTRIC ENERGY EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS USING THE "DISCOUNTED CASH FLOW" METHOD

Adamov A.Y.⁽¹⁾, Angelov M.⁽¹⁾, Panchev H.I.⁽²⁾
hr_panchev@abv.bg

⁽¹⁾*UMG "St. Ivan Rilski"*
⁽²⁾*TU- Varna*
REPUBLIC OF BULGARIA

Key words: *Photovoltaic systems, discounting, energy efficiency, economy.*

Abstract: *In the study of electricity efficiency using the "benefit-cost" method regulated by the EU. The theoretical foundations of the methodology are presented and its approval is carried out. The concrete results and their analysis show the applicability in real conditions of the synthesized method and its vitality.*