МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ПРОЕКТИТЕ ЗА ФОТОВОЛТАИЧНИ ЕНЕРГИЙНИ ПАРКОВЕ

Кондю Андонов, Недко Недев, Мирослав Манев, Людмил Михайлов, Константин Коев

The efficiency of building and integrating photovoltaic energy parks in the electrical power system requires using models, methodologies and systems for optimal designing. Ones are not proposed at this moment. A purpose function is synthesized and a photovoltaic energy parks' projects efficiency assessment model is proposed.

Key words: solar energy, photovoltaic modules, technical-economic efficiency.

Въведение

Проектирането, изграждането и експлоатацията на фотоволтаичните паркове, с оглед ефективното им включване в електроенергийната система на страната, се налага да се основават на научно обосновани модели, методики и системи [4]. Подобен подход се използва за анализ и ефективно управление на локални обекти [5,6]. В съответствие с проектите за използване на слънчевата енергия за сушене и съхраняване на продукция [1,2,3], е необходимо да се разработят модели за оценка на нетните икономии от електроенергия, приходите от продажбата на икономиите от вредни емисии и сроковете на изкупуване на инвестициите. В моделите трябва да се отчитат промените на лихвите, нивата на инфлация и динамиката на електропроизводството на фотоволтаичните паркове за условията на нашата страна.

Целта на настоящето изследване е извеждането на целева функция като модел за оценка ефективността на проектите за фотоволтаични енергийни паркове, с отчитане на производствените и икономическите условия.

МОДЕЛИРАНЕ ОЦЕНКАТА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ПРОЕКТИТЕ

1. Целева функция и условия за оптимизация.

Технико-икономическата ефективност на системите за производство на електрическа енергия чрез фотоволтаици се обуславя както от обема на инвестициите за изграждане на парковете, така и от интензивността на електропроизводството, което има сезонен и случаен характер. **Целевата функция** за оценка на проектите, следователно може да се представи като разликата от приходните и разходни части на проектите, а именно:

$$Z = [(K_0 + D).(p + E) - (B_W + B_E)] \Rightarrow \min \ , \quad (1)$$

$$B_W = W_e.C_e \ , \quad (2)$$

$$B_E = W_e.f_e.C_{CO_2} \ , \quad (3)$$

$$D = T + H, \quad (4)$$

където Z са сумарните специфични годишни разходи (ССГР) за строителството и издръжката на енергийния парк, лв./год.;

W_e – произведените количества електроенергия от годишната експлоатация на парка, kWh/год.;

B_W – годишни приходи от продажбата на електрическата енергия, лв./год.;

B_E - годишни приходи от продажбата на вредните емисии, лв./год.;

C_e - цената на електроенергията, лв./kWh;

C_{co_2} - цената на вредните емисии, лв./ t CO_2;

p - коефициентът на амортизационни отчисления;

f_e - коефицентът на екологичен еквивалент на i-я вид енергиен ресурс/ енергия, g CO_2/kWh.

$E = \frac{1}{T_{отк}}$ - коефициентът на възстановяване (изкупуване) на инвестицията (кредита);

$T_{отк}$ - срокът на възстановяването на инвестицията, месеци;

K_0 - инвестицията за проекта, лв. Включват се инвестициите: за предпроектните проучвания и разработването на проекта; за архитектурно-строителната част на проекта; за доставка на оборудването (фотоволтаични модули, стойки, инвертори, система за насочване и др.); за електрическата част на проекта; за монтаж, пускови и изпитателни работи в парка.

D - допълнителните разходи, включително печалба, транспорт, непредвидени и др., лв.;

T - сумарните разходи за труд, материали и др., лв.;

H - сумарните транспортни разходи, лв.;

Условията за оптимизация на целевата функция за оценка ефективността на проектите се определят от вариантите на изпълнение на проекта*:*

1. Усвояването на инвестицията (изграждането на парка) да се осъществи в периода октомври-април месец.

2. Отчитането на производството на електроенергия и вноските за погасяването на кредита да се извършват по месеци.

3. Обемът на месечните вноски за погасяването на кредита да не надвишава прогнозното средномесечно производство на електрическата енергия, лв.

4. Оптимизацията на проекта да се извършва по три схеми на инвестиране – със собствени средства, с пълен и с частичен кредити.

2. Моделиране на приходите от продажбата на електрическата енергия

Моделът за приходите следва да отчита разпределението им по месеци, съгласно табл.1. Очакваните месечни приходи от произведената електрическа енергия са означени с B_W, в лв., с допълнителен индекс римска цифра, който съответства на номера на месеца в годината. Например B_{WV} представляват приходите за петия месец от годината - май.

Таблица 1

Сегашна стойност на приходите

Приходи по месеци	1 година	2 година	3 година	4 година	5 година
1	2	3	4	5	6
B_{WX}	-	$B_{WIX}/(1+r)^{12}$	$B_{WIX}/(1+r)^{24}$	$B_{WIX}/(1+r)^{36}$	$B_{WIX}/(1+r)^{48}$
B_{WXI}	$B_{WX}/(1+r)$	$B_{WX}/(1+r)^{13}$	$B_{WX}/(1+r)^{25}$	$B_{WX}/(1+r)^{37}$	$B_{WX}/(1+r)^{49}$
B_{WXII}	$B_{WXI}/(1+r)^{2}$	$B_{WXI}/(1+r)^{14}$	$B_{WXI}/(1+r)^{26}$	$B_{WXI}/(1+r)^{38}$	$B_{WXI}/(1+r)^{50}$
B_{WI}	$B_{WXII}/(1+r)^{3}$	$B_{WXII}/(1+r)^{15}$	$B_{WXII}/(1+r)^{27}$	$B_{WXII}/(1+r)^{39}$	$B_{WXII}/(1+r)^{51}$
B_{WII}	$B_{WI}/(1+r)^{4}$	$B_{WI}/(1+r)^{16}$	$B_{WI}/(1+r)^{28}$	$B_{WI}/(1+r)^{40}$	$B_{WI}/(1+r)^{52}$
B_{WIII}	$B_{WII}/(1+r)^{5}$	$B_{WII}/(1+r)^{17}$	$B_{WII}/(1+r)^{29}$	$B_{WII}/(1+r)^{41}$	$B_{WII}/(1+r)^{53}$
B_{WIV}	$B_{WIII}/(1+r)^{6}$	$B_{WIII}/(1+r)^{18}$	$B_{WIII}/(1+r)^{30}$	$B_{WIII}/(1+r)^{42}$	$B_{WIII}/(1+r)^{54}$

продълж. на табл. 1

1	2	3	4	5	6
B_{WV}	$B_{WIV}/(1+r)^{7}$	$B_{WIV}/(1+r)^{19}$	$B_{WIV}/(1+r)^{31}$	$B_{WIV}/(1+r)^{43}$	$B_{WIV}/(1+r)^{55}$
B_{WVI}	$B_{WV}/(1+r)^{8}$	$B_{WV}/(1+r)^{20}$	$B_{WV}(1+r)^{32}$	$B_{WV}/(1+r)^{44}$	$B_{WV}/(1+r)^{56}$
B_{WVII}	$B_{WVI}/(1+r)^{9}$	$B_{WVI}/(1+r)^{21}$	$B_{WVI}(1+r)^{31}$	$B_{WVI}/(1+r)^{45}$	$B_{WVI}/(1+r)^{57}$
B_{WVIII}	$B_{WVII}/(1+r)^{10}$	$B_{WVII}/(1+r)^{22}$	$B_{WV}(1+r)^{30}$	$B_{WVII}/(1+r)^{46}$	$B_{WVII}/(1+r)^{58}$
B_{WIX}	$B_{WVIII}/(1+r)^{11}$	$B_{WVIII}/(1+r)^{23}$	$B_{WVIII}/(1+r)^{29}$	$B_{WVIII}/(1+r)^{47}$	$B_{WVIII}/(1+r)^{59}$

Степенните показатели в зависимостите от табл.1, представляват броя на месеците от стартирането на проекта, а r е реалната лихва в относителни единици.

3. Моделиране на приходите от търговията с вредните емисии

Приходите от търговията с вредните емисии се разпределят също по месеци и години, като за тях е необходимо да се определя стойността им във времето с отчитане инфлацията b към всеки от моментите – месеци, години (табл. 2). В случая b_i е инфлацията за i-та година, в относителни единици. Очакваните месечни приходи от произведената електрическа енергия са означени с B_E, в лв., с допълнителен индекс римска цифра, който съответства на номера на месеца в годината. Например с B_{EV} се представят приходите за петия месец от годината - май.

Таблица 2

Сконтирани стойности на приходите от вредните емисии

Приходи по месеци	1 година	2 година	3 година	4 година
B_{EX}	$B_{EX}.(1+b_1)^{11}$	$B_{EIX}.(1+b_2)^{23}$	$B_{EIX}.(1+b_3)^{35}$	$B_{EIX}.(1+b_4)^{41}$
B_{EXI}	$B_{EXI}.(1+b_1)^{10}$	$B_{EX}.(1+b_2)^{22}$	$B_{EX}.(1+b_3)^{34}$	$B_{EX}.(1+b_4)^{46}$
B_{EXII}	$B_{EXII}.(1+b_1)^{9}$	$B_{EXI}.(1+b_2)^{21}$	$B_{EXI}.(1+b_3)^{33}$	$B_{EXI}.(1+b_4)^{45}$
B_{EI}	$B_{EI}.(1+b_1)^{8}$	$B_{EXII}.(1+b_2)^{20}$	$B_{EXII}.(1+b_3)^{32}$	$B_{EXII}.(1+b_4)^{44}$
B_{EII}	$B_{EII}.(1+b_1)^{7}$	$B_{EI}.(1+b_2)^{19}$	$B_{EI}.(1+b_3)^{31}$	$B_{EI}.(1+b_4)^{43}$
B_{EIII}	$B_{EIII}.(1+b_1)^{6}$	$B_{EII}.(1+b_2)^{18}$	$B_{EII}.(1+b_3)^{30}$	$B_{EII}.(1+b_4)^{42}$
B_{EIV}	$B_{EIV}.(1+b_1)^{5}$	$B_{EIII}.(1+b_2)^{17}$	$B_{EIII}.(1+b_3)^{29}$	$B_{EIII}.(1+b_4)^{41}$
B_{EV}	$B_{EV}.(1+b_1)^{4}$	$B_{EIV}.(1+b_2)^{16}$	$B_{EIV}.(1+b_3)^{28}$	$B_{EIV}.(1+b_4)^{40}$
B_{EVI}	$B_{EVI}.(1+b_1)^{3}$	$B_{EV}.(1+b_2)^{15}$	$B_{EV}.(1+b_3)^{27}$	$B_{EV}.(1+b_4)^{39}$
B_{EVII}	$B_{EVII}.(1+b_1)^{2}$	$B_{EVI}.(1+b_2)^{14}$	$B_{EVI}.(1+b_3)^{26}$	$B_{VI}.(1+b_4)^{38}$
B_{EVIII}	$B_{EVIII}.(1+b_1)$	$B_{EVII}.(1+b_2)^{13}$	$B_{EVII}.(1+b_3)^{25}$	$B_{EVII}.(1+b_4)^{37}$
B_{EIX}	B_{EIX}	$B_{EVIII}.(1+b_2)^{12}$	$B_{VIII}.(1+b_3)^{24}$	$B_{EVIII}.(1+b_4)^{36}$

4. Проверка на моделите

Годишно производство на електроенергия и приходи. Събрана и обработена е информация за произведената електроенергия от фотоволтаичен парк с мощност 25 kW в два варианта - със система за насочване (СН) и при стационарен монтаж на соларните панели (СМ). Данните са представени в табл.3. Приходите от продажбите са изчислени при цена от 718 лв./MWh, без ДДС.

Таблица 3

Разпределение на произведената електроенергия и приходите от фотоволтаичен парк с мощност 25 kW

Месец	Произведена електроенергия, kWh		Намаление на вредните емисии, t/CO_2		Приходи от произведената електроенергия, лв.		Приходи от намалението на вредните емисии, лв.	
	СМ	СН	СМ	СН	СМ	СН	СМ	СН
VIII	806	1048	0,57	0,73	579	752	39	51
IX	1306	1554	0,92	1,09	938	1116	63	76
X	1269	1472	0,89	1,03	911	1057	61	71
XI	535	589	0,37	0,41	384	423	26	28
XII	817	890	0,57	0,62	587	639	39	43
I	1055	1108	0,74	0,78	757	795	50	53
II	1646	1777	1,15	1,24	1182	1276	78	84
III	2715	3014	1,90	2,11	1949	2164	128	142
IV	3804	4261	2,66	2,98	2732	3059	178	200
V	4156	4904	2,91	3,43	2984	3521	194	229
VI	4071	5048	2,85	3,53	2923	3624	189	234
VII	3973	5244	2,78	3,67	2852	3765	184	242
Общо	26481	30909	18,31	21,64	18778	22193	1230	1453

Сегашна стойност на приходите. Сегашната стойност, след сконтиране чрез зависимостите от табл.1 и използване на целевата функция (1), е оценена при инфлация 6% и лихва 12 %. Стойността на приходите от продажбата на произведената електроенергия, при реално ниво от 18778 лв. за стартовата година, след петата година спада до 14669 лв., което представлява намаление с 22 %.

Приходи от търговията с вредни емисии. Приходите от спестените вредни емисии се определят по модела, описан чрез зависимостите от табл.2. Оценката е извършена при условие, че f_i = 700 g CO_2/kWh. Стойността на приходите в реално време, след сконтиране чрез зависимостите от табл.2 и използване на формула (3), е оценена при инфлация от 6% и лихва 12 %. Резултатите за 5 годишен период са представени в табл.4. Приходите за настояща та година са 1230 лв., към петата

Таблица 4

Сконтирани стойности на приходите от продажбата на електрическата енергия ЕЕ, лв. и на вредните емисии Ем, лв.

Месец	1 година		2 година		3 година		4 година		5 година	
	ЕЕ	Ем	ЕЕ	Ем	ЕЕ	Ем	ЕЕ	Ем	ЕЕ	Ем
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
VIII	547,7	39	515,9	42	488,36	44	460	47	435,4	50
IX	892,1	63	840,3	67	795,46	71	749,2	76	709,2	80
X	871,1	61	820,5	65	776,68	69	731,6	73	692,5	77
XI	369,4	26	347,9	27	329,37	29	310,2	31	293,7	32
XII	566,4	39	533,5	41	502,55	44	475,7	47	450,3	49
I	735,2	50	692,4	53	652,22	57	617,4	60	584,4	63

продълж. на табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
II	1152	78	1086	83	1022,5	88	967,9	93	916,2	98
III	1911	128	1800	136	1695,3	144	1605	152	1519	161
IV	2691	178	2535	189	2387,4	201	2260	212	2139	224
V	2955	194	2783	206	2621,3	219	2481	231	2349	244
VI	2908	189	2739	201	2580,2	213	2442	225	2312	238
VII	2852	184	2687	195	2530,7	207	2396	219	2268	231
Общо	18452	1230	17380	1306	16382	1385	15496	1465	14669	1547

година сконтираната стойност на приходите ще достигне 1547 лв., като нарастването е с 317 лв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложените целева функция и модели за сконтиране позволяват да се моделира ефективността на проектите за фотоволтаичните енергийни паркове (ФФЕП) чрез инвестициите и приходите от продажбите на електрическата енергия и вредните емисии, с отчитане лихвите и инфлацията.

2. Предложените модели могат да се използват като база за изграждането на автоматизирани системи за проектирането и за ефективната производствена експлоатация на ФФЕП.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Андонов К., К. Мартев, К. Коев, О. Динолов, А. Новакова. Моделиране на приходите при анализ на проектите с възобновяеми източници на енергия. – Дни на науката на ТУ – София - I Научна конференция, Созопол, 2009, (под печат).

[2] Новакова А., Кр. Ениманев, К. Андонов,Т. Ерменков. Обобщен модел с оглед управлението на нетните икономии от енергия за процесите с агент влажен въздух (сушене и съхранение на продукция), Научни известия на НТС по машиностроене: VI международна научна конференция „Мениджмънт и инженеринг'08", София, ISSN 1310-3946, бр. 1, 2008

[3] Новакова А., Кр. Ениманев, К. Андонов, Б Евстатиев,Т. Ерменков. Нетни икономии от бенчмарка на вредните емисии при сушене на продукция, Научни известия на НТС по машиностроене: VI международна научна конференция „Мениджмънт и инженеринг'08", София, ISSN 1310-3946, бр. 1 , 2008.

[4] Andonov K., A. Krasteva, O. Dinolov, L. Mihailov, V. Kirchev, T. Ermenkov. On the Methodology and Normative Regulations of Efficient Electrical Consumption. - ELMA 2008 – XII International Conference on Machines, Drives and Power Systems, Vol. 1, Sofia, Bulgaria, 16 – 18 October 2008, p. 73 – 77.

[5] Evstatieva N. Investigation of technological parameters influence on the dynamics of temperature-humidity regime in egg products spray dryer through a model. MOCM–Issue No.14, Volume III, Romanian technical science academy (2008), pp. 33-38.

[6] Evstatieva N., V. Dimov. Energy-efficient microclimate control in a Hatchery. Vth International Conference "ECOLOGY IN ELECTRONICS", 26-27 May 2008, Warsaw, Poland.

За контакти:

Проф. дтн Кондю Андонов, Катедра "ЕСЕО", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082 888 302, E-mail: kandonov@ru.acad.bg.

Доц. д-р инж. Людмил Михайлов, Катедра "ЕСЕО", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082 888 616, E-mail: lmihaylobv@ru.acad.bg .

Докладът е рецензиран.