

## Ефективност от въвеждане на фотоволтаична инсталация за електрозахранване на типичен производствен обект за лаково бояджийски материали

Красимир Мартев, Манол Новаков

**Abstract:** A research has been conducted for assessing the energy efficiency of using a photovoltaic source (FVS) on a reference base for manufacture of paints. Three variants at the level of the peak power of photovoltaic sources are compared with the daily loads of the consumers. It is appropriate and practicable the variant with a peak power of FVS, compared to the power of the daily loads of electric power consumption on the non- working days and holidays of the year.

**Key words:** electric power efficiency, manufacture of paints, photovoltaic sources of electric power.

### Въведение

Ефективното използване на електрическата енергия, произвеждана от фотоволтаичните източници (ФВИ) изисква системно технико-икономическо проучване на електропотреблението на обектите, свързано с генерирания от ФВИ товар на електропроизводството [1]. Подобни изследвания все още не са намерили място в практиката. Предложена е унифицирана методика за изграждане на фотоволтаични инсталации в условията на производствени обекти или жилищни квартали, на базата на която могат да се изградят ефективни проекти за електрозахранването на фирмите [2,3]. Като се изхожда от постановките, съдържащи се в [3], е поставена целта да се установят очакваните нива на електрозахранване на действащ фирмена производствена база чрез ФВИ и енергетичния ефект от използването им.

### Обект и товари на електропотреблението и електропроизводството.

**Производствена база.** Предназначена е за производството на лаково-бояджийски материали. Електропотреблението на базата се характеризира с усреднени денонощни товарови графици на електропотребление, почасовите стойности на които са представени за зимен сезон и за летен сезон. Данните са резултат от статистическата обработка на дневната консумация на електрическа енергия, отчитана непрекъснато от статистическия електромер на всеки час, въз основа на които се фактурира и осъществява плащането по тритарифната система за касиране. Разпределението на разхода на електрическа енергия в обобщен вид през работните (R) и празничните (P) дни в базата по месеци през годината е дадено в табл.1 и табл.2. Годишният разход е 614840 kWh.

**Таблица 1**  
Разпределение на разхода на електрическа енергия през работните (R) и празничните (P) дни в базата по месеци през зимния сезон

|         | XI    |       | XII   |       | I     |       | II    |       | III   |       | kWh    |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|         | R     | P     | R     | P     | R     | P     | R     | P     | R     | P     |        |
| бр. дни | 21    | 9     | 14    | 17    | 15    | 16    | 20    | 8     | 20    | 11    |        |
| kWh/P   | 2130  | 986   | 2305  | 1027  | 2466  | 1057  | 2425  | 1227  | 2353  | 941   |        |
| kWh/R   | 44732 | 8708  | 32269 | 17456 | 36991 | 16910 | 48508 | 9818  | 47065 | 10350 | 272807 |
| kWh     | 0     | 53440 | 0     | 49725 | 0     | 53901 | 0     | 58326 | 0     | 57415 | 272807 |

**Таблица 2**  
**Разпределение на разхода на електрическа енергия през работните (R) и празничните (P) дни в базата по месеци през летния сезон**

|         | IV    |       | V     |       | VI    |       | VII   |       | VIII  |       | IX    |       | X     |       | kWh    |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|         | R     | P     | R     | P     | R     | P     | R     | P     | R     | P     | R     | P     | R     | P     |        |
| бр. дни | 22    | 8     | 19    | 12    | 20    | 10    | 23    | 8     | 22    | 9     | 20    | 10    | 23    | 8     |        |
| kWh/P   | 1568  | 323   | 1709  | 420   | 1909  | 523   | 2171  | 733   | 2354  | 1160  | 2056  | 957   | 2243  | 972   |        |
| kWh/R   | 34496 | 2587  | 32469 | 5037  | 38178 | 5225  | 49934 | 5867  | 51172 | 10442 | 39072 | 9566  | 50213 | 7775  | 342033 |
| kWh     | 0     | 37083 | 0     | 37506 | 0     | 43403 | 0     | 55801 | 0     | 61614 | 0     | 48638 | 0     | 57988 | 342033 |

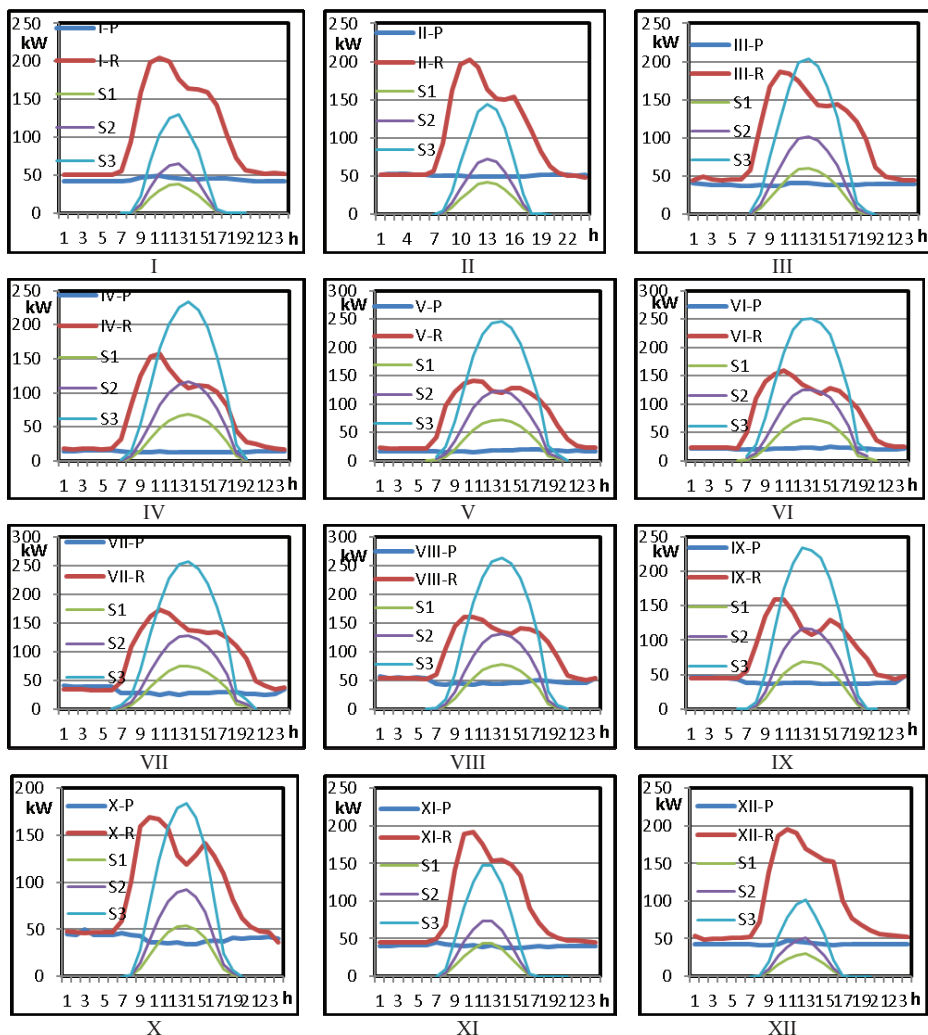
**Фотоволтаичен източник.** Избран е действащ фотоволтаичен парк в района на производствения обект. Експлоатира се от 2008 г. Събрани са и статистически обработени данните за електропроизводството през периода 2009 - 2013 г. Резултатите са приведени към 1 kWp пикова мощност и представени в табл.3.

**Таблица 3**  
**Усреднени почасови стойности на денонощните товари графици на електропроизводство на ФВИ, приведени към 1 kWp пикова мощност**

|     | I     | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI    | XII   | средно год |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| 7h  | 0     | 2E-05 | 0,007 | 0,003 | 0,017 | 0,023 | 0,017 | 0,006 | 3E-04 | 0     | 3E-05 | 0     | 0,006      |
| 8h  | 0,001 | 0,012 | 0,067 | 0,036 | 0,063 | 0,069 | 0,06  | 0,044 | 0,025 | 0,005 | 0,023 | 0,002 | 0,034      |
| 9h  | 0,057 | 0,076 | 0,188 | 0,136 | 0,175 | 0,191 | 0,173 | 0,151 | 0,127 | 0,071 | 0,124 | 0,048 | 0,126      |
| 10h | 0,17  | 0,169 | 0,31  | 0,278 | 0,322 | 0,342 | 0,332 | 0,317 | 0,29  | 0,193 | 0,23  | 0,133 | 0,257      |
| 11h | 0,259 | 0,259 | 0,418 | 0,417 | 0,468 | 0,48  | 0,465 | 0,466 | 0,435 | 0,31  | 0,315 | 0,197 | 0,374      |
| 12h | 0,313 | 0,337 | 0,501 | 0,505 | 0,562 | 0,582 | 0,572 | 0,577 | 0,532 | 0,397 | 0,37  | 0,241 | 0,458      |
| 13h | 0,328 | 0,362 | 0,511 | 0,567 | 0,611 | 0,629 | 0,635 | 0,645 | 0,59  | 0,449 | 0,371 | 0,255 | 0,496      |
| 14h | 0,272 | 0,344 | 0,489 | 0,588 | 0,621 | 0,63  | 0,645 | 0,661 | 0,58  | 0,461 | 0,309 | 0,204 | 0,484      |
| 15h | 0,207 | 0,282 | 0,419 | 0,556 | 0,592 | 0,611 | 0,612 | 0,637 | 0,552 | 0,424 | 0,21  | 0,14  | 0,437      |
| 16h | 0,107 | 0,179 | 0,321 | 0,492 | 0,519 | 0,56  | 0,548 | 0,572 | 0,473 | 0,347 | 0,099 | 0,055 | 0,356      |
| 17h | 0,012 | 0,066 | 0,18  | 0,386 | 0,406 | 0,445 | 0,448 | 0,464 | 0,357 | 0,203 | 0,008 | 0,003 | 0,248      |
| 18h | 3E-04 | 0,004 | 0,039 | 0,237 | 0,274 | 0,309 | 0,302 | 0,311 | 0,196 | 0,061 | 0     | 0     | 0,144      |
| 19h | 8E-05 | 9E-04 | 0,01  | 0,059 | 0,069 | 0,077 | 0,075 | 0,078 | 0,049 | 0,015 | 0     | 0     | 0,036      |
| 20h | 0     | 0     | 0     | 0,008 | 0,031 | 0,042 | 0,041 | 0,019 | 0,001 | 0     | 0     | 0     | 0,012      |

Избрани са три варианта за електрозахранване на базата чрез ФВИ. Изхожда се от установените показатели на обследваните товари на електропотреблението на производствената база (табл.1,2) и на електропроизводството от фотоволтаичния парк (табл.3).

**Вариант S1:** Мощността на ФВИ е избрана така, че да подпомага намаляването на електропотреблението на обекта през почивните и работни дни (в случая за обекта през годината са отчетени общо 124 почивни дни), като остатъчната електроенергия през почивните дни може да се изнася навън. Приета е мощност S1 = 117 kWp.



Фиг. 1. Варианти и съотношенията между нивата на товарите на електропотребление и електропроизводство по месеци на обекта

**Вариант S2:** Също като вариант S1, но ще се осигурява по-голямо количество електроенергия от ФВИ за обекта през работните дни, а през почивните дни да се предложи по-голямо количество навън. Приета е мощност S2 = 200 kWp.

**Вариант S3:** Предполага се изграждането на ФВИ с работна мощност надвишаваща мощността на товара на електропотреблението. Приета е мощност S3 = 400 kWp.

Вариантите и съотношенията между нивата на товарите на електропотребление и електропроизводство по варианти и месеци са илюстрирани графично на фиг. 1.

Нивата на произвежданото количество електроенергия от ФВИ при вариант S1 по месеци, общо за годината, през работните (R) и празничните (P) дни са

представени в табл.4. Общото количество достига 148396 kWh. То съставлява 24,1 % от годишната консумация на обекта.

**Таблица 4.**  
**Разпределение на произведеното количество електроенергия от ФВИ при вариант S1**

|   |         | I    | II   | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI   | XII  | Сума   |
|---|---------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| P | бр. дни | 16   | 8    | 11    | 8     | 12    | 10    | 8     | 9     | 10    | 8     | 9    | 17   | 126    |
|   | kWh     | 3233 | 1955 | 4453  | 3995  | 6640  | 5840  | 4610  | 5211  | 4922  | 2748  | 2169 | 2540 | 48315  |
| R | бр. дни | 15   | 20   | 20    | 22    | 19    | 20    | 23    | 22    | 20    | 23    | 21   | 14   | 239    |
|   | kWh     | 3031 | 4888 | 8097  | 10985 | 10513 | 11679 | 13253 | 12738 | 9843  | 7900  | 5061 | 2092 | 100081 |
|   | Общо.   | 6263 | 6843 | 12550 | 14980 | 17153 | 17519 | 17863 | 17949 | 14765 | 10648 | 7229 | 4632 | 148396 |

Производството на ФВИ е през деня - сутринта от около 7 h, след обяд до 20 h. Обхваща часовете на върховата и дневните тарифи за заплащане на електроенергията. Разпределението на средното дневно и годишно производство на електроенергия от ФВИ за двете тарифни зони при вариант S1 е представено в табл.5.

**Таблица 5.**  
**Разпределение на средното дневно и годишно производство на електроенергия от ФВИ по тарифни зони при вариант S1**

|                            |         | I    | II   | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI   | XII  |        |
|----------------------------|---------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| Средно дневно производство | За деня | 202  | 244  | 405   | 499   | 553   | 584   | 576   | 579   | 492   | 343   | 241  | 149  |        |
|                            | Върхова | 57   | 59   | 107   | 156   | 179   | 187   | 180   | 177   | 162   | 114   | 78   | 44   |        |
|                            | Дневна  | 145  | 185  | 298   | 343   | 375   | 397   | 396   | 402   | 330   | 230   | 163  | 105  |        |
| Върхова                    | P       | 912  | 472  | 1177  | 1248  | 2148  | 1870  | 1440  | 1593  | 1620  | 912   | 702  | 748  | 14842  |
|                            | R       | 855  | 1180 | 2140  | 3432  | 3401  | 3740  | 4140  | 3894  | 3240  | 2622  | 1638 | 616  | 30898  |
|                            | Сума    | 2320 | 1480 | 3278  | 2744  | 4500  | 3970  | 3168  | 3618  | 3300  | 1840  | 1467 | 1785 | 33470  |
| Дневна                     | P       | 2175 | 3700 | 5960  | 7546  | 7125  | 7940  | 9108  | 8844  | 6600  | 5290  | 3423 | 1470 | 69181  |
|                            | R       | 2175 | 3700 | 5960  | 7546  | 7125  | 7940  | 9108  | 8844  | 6600  | 5290  | 3423 | 1470 | 69181  |
| Сума годишна               |         | 6263 | 6843 | 12550 | 14980 | 17153 | 17519 | 17863 | 17949 | 14765 | 10648 | 7229 | 4632 | 148396 |

Като са използвани предходните резултати (табл.4, табл.5), е получено разпределението на средното годишно производство на електроенергия от ФВИ през почивните (P) и работни (R) дни, по тарифни зони – върхова (В) и дневна (Д), съгласно приетите варианти на мощности на ФВИ - S1, S2 и S3 (табл.6).

**Таблица 6.**  
**Разпределение на средното годишно производство на електроенергия от ФВИ през почивните и работни дни по тарифни зони – върхова (В) и дневна (Д)**

|     |       | I    |        |        |        |       |        |       | II   |        |        |        |        |        |  |
|-----|-------|------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|     | W     | S1   | ΔS1    | S2     | ΔS2    | S3    | ΔS3    | W     | S1   | ΔS1    | S2     | ΔS2    | S3     | ΔS3    |  |
| P-В | 4384  | 912  | -3472  | 1550   | -2834  | 3101  | -1283  | 2440  | 472  | -1968  | 802    | -1638  | 1605   | -835   |  |
| P-Д | 7808  | 2320 | -5488  | 3944   | -3864  | 7888  | 80     | 4456  | 1480 | -2976  | 2516   | -1940  | 5032   | 576    |  |
| R-В | 13020 | 855  | -12165 | 1454   | -11567 | 2907  | -10113 | 17200 | 1180 | -16020 | 2006   | -15194 | 4012   | -13188 |  |
| R-Д | 18645 | 2175 | -16470 | 3698   | -14948 | 7395  | -11250 | 24180 | 3700 | -20480 | 6290   | -17890 | 12580  | -11600 |  |
|     |       | III  |        |        |        |       |        |       | IV   |        |        |        |        |        |  |
|     | W     | S1   | ΔS1    | S2     | ΔS2    | S3    | ΔS3    | W     | S1   | ΔS1    | S2     | ΔS2    | S3     | ΔS3    |  |
| P-В | 2280  | 1620 | -660   | 2754   | 474    | 5508  | 3228   | 640   | 1248 | 608    | 2122   | 1482   | 4243,2 | 3603   |  |
| P-Д | 3730  | 3300 | -430   | 5610   | 1880   | 11220 | 7490   | 1008  | 2744 | 1736   | 4665   | 3657   | 9329,6 | 8322   |  |
| R-В | 16180 | 2140 | -14040 | 3638   | -12542 | 7276  | -8904  | 13530 | 3432 | -10098 | 5834,4 | -7696  | 11669  | -1861  |  |
| R-Д | 24580 | 5960 | -18620 | 10132  | -14448 | 20264 | -4316  | 17886 | 7546 | -10340 | 12828  | -5058  | 25656  | 7770   |  |
|     |       | V    |        |        |        |       |        |       | VI   |        |        |        |        |        |  |
|     | W     | S1   | ΔS1    | S2     | ΔS2    | S3    | ΔS3    | W     | S1   | ΔS1    | S2     | ΔS2    | S3     | ΔS3    |  |
| P-В | 1188  | 2148 | 960    | 3651,6 | 2464   | 7303  | 6115   | 1280  | 1870 | 590    | 3179   | 1899   | 6358   | 5078   |  |
| P-Д | 2195  | 4500 | 2305   | 7650   | 5455   | 15300 | 13105  | 2210  | 3970 | 1760   | 6749   | 4539   | 13498  | 11288  |  |
| R-В | 11495 | 3401 | -8094  | 5781,7 | -5713  | 11563 | 68     | 13300 | 3740 | -9560  | 6358   | -6942  | 12716  | -584   |  |
| R-Д | 19418 | 7125 | -12293 | 12113  | -7306  | 24225 | 4807   | 21140 | 7940 | -13200 | 13498  | -7642  | 26996  | 5856   |  |

НАУЧНИ ТРУДОВЕ НА РУСЕНСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ - 2014, том 53, серия 3.1

| VII |       |      |        |       |        |       |        | VIII  |      |        |       |        |       |        |  |
|-----|-------|------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|------|--------|-------|--------|-------|--------|--|
|     | W     | S1   | ΔS1    | S2    | ΔS2    | S3    | ΔS3    | W     | S1   | ΔS1    | S2    | ΔS2    | S3    | ΔS3    |  |
| P-B | 1272  | 1440 | 168    | 2448  | 1176   | 4896  | 3624   | 2144  | 1593 | -551   | 2708  | 564    | 5416  | 3272   |  |
| P-Д | 2224  | 3168 | 944    | 5386  | 3162   | 10771 | 8547   | 3696  | 3618 | -78    | 6151  | 2455   | 12301 | 8605   |  |
| R-B | 16767 | 4140 | -12627 | 7038  | -9729  | 14076 | -2691  | 16082 | 3894 | -12188 | 6620  | -9462  | 13240 | -2842  |  |
| R-Д | 26864 | 9128 | -17736 | 15518 | -11346 | 31035 | 4171   | 26312 | 8844 | -17468 | 15035 | -11277 | 30070 | 3758   |  |
| IX  |       |      |        |       |        |       |        | X     |      |        |       |        |       |        |  |
|     | W     | S1   | ΔS1    | S2    | ΔS2    | S3    | ΔS3    | W     | S1   | ΔS1    | S2    | ΔS2    | S3    | ΔS3    |  |
| P-B | 2280  | 1620 | -660   | 2754  | 474    | 5508  | 3228   | 1864  | 912  | -952   | 1550  | -314   | 3101  | 1237   |  |
| P-Д | 3730  | 3300 | -430   | 5610  | 1880   | 11220 | 7490   | 3104  | 1840 | -1264  | 3128  | 24     | 6256  | 3152   |  |
| R-B | 13840 | 3240 | -10600 | 5508  | -8332  | 11016 | -2824  | 6024  | 912  | -5112  | 1550  | -4474  | 3101  | -2923  |  |
| R-Д | 20040 | 6600 | -13440 | 11220 | -8820  | 22440 | 2400   | 8456  | 1840 | -6616  | 3128  | -5328  | 6256  | -2200  |  |
| XI  |       |      |        |       |        |       |        | XII   |      |        |       |        |       |        |  |
|     | W     | S1   | ΔS1    | S2    | ΔS2    | S3    | ΔS3    | W     | S1   | ΔS1    | S2    | ΔS2    | S3    | ΔS3    |  |
| P-B | 2178  | 702  | -1476  | 1193  | -985   | 2387  | 209    | 3682  | 616  | -3066  | 1047  | -2635  | 2094  | -1588  |  |
| P-Д | 3978  | 1467 | -2511  | 2494  | -1484  | 4988  | 1010   | 6538  | 1470 | -5068  | 2499  | -4039  | 4998  | -1540  |  |
| R-B | 16632 | 1638 | -14994 | 2785  | -13847 | 5569  | -11063 | 13991 | 748  | -13243 | 1272  | -12719 | 2543  | -11448 |  |
| R-Д | 21504 | 3423 | -18081 | 5819  | -15685 | 11638 | -9866  | 19142 | 1785 | -17357 | 3035  | -16108 | 6069  | -13073 |  |

Производството на ФВИ не покрива консумацията от електроенергия за нито една от тарифите, както през празничните така и през работните дни за месеците I, II, III, X, XI и XII. Частично покритие е налице както следва: I, II - остатък от 80 и 576 kWh при вариант S3; III - Остатък през почивните дни при вариант S2 - 474 и 1880 kWh и S3- 3228 и 7490 kWh; X - остатък през почивните дни при вариант S2 – 24 kWh и S3- 1237 и 3152 kWh; XI - остатък от 209 и 1010 kWh през почивните дни при вариант S3. През летните месеци налице е покритие на електропотреблението и налице на остатъчни количества през почивните дни.

Анализирана е степента на обеспеченост на електропотреблението на обекта от ФВИ по вариант S1 за зимен и летен сезон. През зимния сезон ФВИ покрива: в почивните дни - от 17 до 71 % от върховата и от 22 до 88 % от дневната консумация; в работните дни - от 5 до 13 % от върховата и от 9 до 24 % от дневната консумация. През летния сезон ФВИ покрива: в почивните дни - от 49 до 195 % от върховата и от 59 до 272 % от дневната консумация; в работните дни - от 15 до 30 % от върховата и от 22 до 42 % от дневната консумация.

### Заклучение:

1. Характерът на електропотребление на обекта е възможно най-благоприятно за използване на фотоволтаични източници (ФВИ). Работните смени са сутрин от 6 до 18 h. Генерираната от ФВИ енергия е в интервал от 7 до 20 h. Налице са условия за използване на електроенергия от ФВИ на цените на върхова и дневна тарифа.

2. Даденият обект, както и сходни производствени консуматори, се характеризират с множество неработни дни, когато консумираната електроенергия има непроизводствен характер, не генерира реален продукт, но не може да бъде избегната. Въвеждането на ФВИ, както показват резултатите от настоящото изследване, по пикова мощност е съвместимо и практически целесъобразно да бъде съизмеримо с мощността на товара през тези дни.

3. Ефектът от използването на ФВИ следва да се оценява предимно на база енергиен ефект, като зелена енергия. Цените както на консумираната електроенергия от системата, така и от ФВИ са неустойчиви, влияят се от пазарната и политическа конюктура, поради което не се препоръчва ефекта от въвеждане на ФВИ да се определя чрез паричните потоци.

**Литература:**

1. Ерменков Т. Оценка ефективността на електропроизводството от фотоволтаичните източници свързано с товара на консуматорите. Научна конференция РУ „Ангел Кънчев”, 25-26.10. 2013.
2. Недев, Н., Кр. Мартев, К. Коев. Изследване влиянието на някои фактори върху производството на електрическа енергия от фотоволтаични модули. Енергетика, бр.6, 2011, стр. 27...30.
3. Kondyu Andonov Nedko Nedev Liliya Ilieva Lyudmil Mihaylov Krasimir Martev. A Unified model for enhancing photovoltaic project efficiency and electricity generation. Екология и бъдеще, № 3-4, 2013, стр. 3-17.

**За контакти:** доц. д-р инж. Красимир Мартев, Русенски университет „Ангел Кънчев”, [kmartev@uni.ruse.bg](mailto:kmartev@uni.ruse.bg).

**Докладът е рецензиран.**