



АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

Стаднік Микола Іванович д.т.н., професор
Рубаненко Олена Олександрівна к.т.н., доцент
Бондаренко Сергій Валерійович магістрант
Вінницький національний аграрний університет
Stadnik M.
Rubanenko O.
Bondarenko S.

Vinnitsia National Agrarian University

Анотація: в статті проведено аналіз генерації електроенергії на сонячних станціях Вінницької області, розраховано інсоляцію в різних частинах області. Проведено дослідження ефективності генерації електроенергії погодинно та в різні пори року. Надані рекомендації щодо подальшого розвитку досліджень сонячної енергетики.

Ключові слова: сонячна електростанція, інсоляція, добова генерація, сонячна панель.

Постановка проблеми

Тенденція до збільшення використання джерел відновлювальної енергії спостерігається в усіх розвинених країнах світу. Такі країни як Німеччина, Данія, Швеція, США, Японія щорічно збільшують частку відновлювальної енергетики у своїх енергосистемах. Це рішення продиктовано в першу чергу глобальними екологічними проблемами, а також прагненням цих країн до енергетичної незалежності. Україна в цьому плані, незважаючи на свою енергетичну залежність від викопних джерел енергії, відстає від розвинених країн. Частка відновлювальної енергетики в енергосистемі України складає всього 1,76%, частка тільки сонячної енергетики (без врахування Криму) складає 0,75%, що складає 42% від генерованої електроенергії з використанням відновлювальної енергетики. Для України розвиток альтернативної енергетики є стратегічно важливим напрямком саме через її енергетичну залежність від викопного палива, яке імпортується з інших країн.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Питанням дослідження використання альтернативної енергетики в Україні присвячені праці Півняка Г.Г. і Шкрабця В.П. [1], Мазура О.В. і Артеменка Л.П. [2], Лежнюка П.Д., Комарай В.О., Собчука Д.С. [7], Бурбело М.Й. і Мельничука С.М. [12] та багатьох інших. Однак більшість досліджень носять загальний характер для кліматичних умов всієї України, при цьому недостатньо приділяється уваги дослідженню генерації електроенергії у конкретних регіонах України з різними кліматичними умовами.

Мета досліджень

Провести аналіз генерації електроенергії на сонячних станціях Вінницької області, визначити рівень інсоляції. Провести дослідження ефективності генерації електроенергії на сонячній станції у різні пори року.

Результати досліджень

Вінницька область займає вигідне положення в Україні серед інших областей для розвитку сонячної енергетики завдяки своєму географічному положенню і сприятливому клімату і має досить високий потенціал для будівництва нових сонячних станцій і підвищення виробництва електроенергії за допомогою сонячних батарей. У Вінницькій області присутній ряд компаній, яким належать великі сонячні електростанції, до яких відносяться: Слободо-Бушанська СЕС, Цекинівська СЕС, Тростянецька СЕС, Ямпільська СЕС, Томашпільська СЕС, Гальжбівська СЕС, Бершадська СЕС, Могилів-Подільська СЕС та інші. У даній статті проведемо дослідження виробництва електроенергії на станціях у різних частинах області. Для південної частини виберемо Цекинівську СЕС, що знаходиться біля села Цекинівка, для південно-східної частини виберемо Бершадську СЕС, що знаходиться біля села Чернятка. Потрібно врахувати те, що більшість великих сонячних станцій Вінницької області знаходяться у південних районах, тому найбільш північною з розглянутих станцій буде сонячна станція у Гнівани, що фактично знаходиться в центрі області.

Щодо даних трьох СЕС було проаналізовано статистику віддачі електроенергії в загальну мережу за 2015 рік та зроблено вибірку, в якій було взято 15 число кожного місяця по добовому навантаженні, дана вибірка представлена в табл. 1 для Цекинівської СЕС, в табл. 2 для Гніванської



СЕС, в табл. 3 для Бершадської СЕС.

Таблиця 1

Добове навантаження Цекинівської СЕС середини кожного місяця 2015 року

Дата	За добу	Години	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15.01.15	1655	Генерація кВт год	0	0	0	0	0	0	0	0	48	126	216	333	387	322	168	55	0	0	0	0	0	0	0	0
15.02.15	2313		0	0	0	0	0	0	0	0	5	73	212	330	362	425	421	301	154	40	0	0	0	0	0	0
15.03.15	23707		0	0	0	0	0	0	30	485	1546	2249	3043	3179	3495	3306	2830	2057	1213	274	0	0	0	0	0	0
15.04.15	6066		0	0	0	0	0	27	190	427	577	586	866	583	313	521	812	942	164	51	7	0	0	0	0	0
15.05.15	21779		0	0	0	0	7	137	554	1470	2312	2648	2593	2831	2536	1353	1433	1562	1299	851	175	18	0	0	0	0
15.06.15	21376		0	0	0	0	9	159	626	1435	1745	1640	2994	3100	3097	2979	1872	344	1146	186	44	0	0	0	0	0
15.07.15	15137		0	0	0	0	7	115	466	1198	1904	1330	1789	1838	866	1863	467	336	1735	909	259	55	0	0	0	0
15.08.15	19997		0	0	0	0	0	42	310	902	1634	2321	2763	2977	2900	2006	1797	940	782	499	130	0	0	0	0	0
15.09.15	22865		0	0	0	0	0	0	196	876	1789	2480	2926	3144	3154	2959	2543	1760	759	274	4	0	0	0	0	0
15.10.15	15101		0	0	0	0	0	0	32	383	1288	2243	2709	2959	2770	1247	816	469	185	0	0	0	0	0	0	0
15.11.15	6489		0	0	0	0	0	0	44	277	231	390	672	1447	2111	1018	280	19	0	0	0	0	0	0	0	0
15.12.15	5807		0	0	0	0	0	0	0	49	371	696	966	2250	808	497	166	4	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця 2

Добове навантаження Гніванської СЕС середини кожного місяця 2015 року

Дата	За добу	Години	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15.01.2015	13	Генерація кВт год	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15.02.2015	18		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
15.03.2015	163		0	0	0	0	0	0	4	10	16	18	23	24	23	20	15	8	2	0	0	0	0	0	0	0
15.04.2015	26		0	0	0	0	0	0	1	2	3	2	3	2	3	2	2	3	2	1	0	0	0	0	0	0
15.05.2015	191		0	0	0	0	0	2	3	9	16	20	21	20	23	23	21	17	10	5	1	0	0	0	0	0
15.06.2015	174		0	0	0	0	0	2	4	10	12	16	19	25	26	24	20	7	4	4	1	0	0	0	0	0
15.07.2015	87		0	0	0	0	0	1	3	8	7	5	4	5	9	6	10	14	8	5	2	0	0	0	0	0
15.08.2015	121		0	0	0	0	0	0	2	6	11	17	20	19	14	8	4	11	5	2	2	0	0	0	0	0
15.09.2015	174		0	0	0	0	0	0	2	6	12	18	21	25	25	23	19	14	7	2	0	0	0	0	0	0
15.10.2015	93		0	0	0	0	0	0	0	4	9	15	19	20	10	8	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0
15.11.2015	9		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15.12.2015	64		0	0	0	0	0	0	0	1	7	11	12	15	11	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця 3

Добове навантаження Бершадської СЕС середини кожного місяця 2015 року

Дата	За добу	Години	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15.01.15	1746	Генерація кВт год	0	0	0	0	0	0	0	0	27	144	253	256	352	382	220	108	4	0	0	0	0	0	0	0
15.02.15	5191		0	0	0	0	0	0	32	242	514	751	900	960	858	573	282	79	0	0	0	0	0	0	0	0
15.03.15	45644		0	0	0	0	0	66	975	2638	4027	5671	6246	6437	6275	5531	4353	2673	748	4	0	0	0	0	0	0
15.04.15	10229		0	0	0	0	0	122	462	875	1367	1702	1220	1064	964	683	636	411	426	289	8	0	0	0	0	0
15.05.15	48465		0	0	0	0	57	266	989	2643	4251	5049	5620	4623	5232	5162	4853	4162	3149	1924	450	35	0	0	0	0
15.06.15	40273		0	0	0	0	51	324	1051	2529	3809	3813	4430	6057	4755	933	2224	4316	3525	1922	497	37	0	0	0	0
15.07.15	27394		0	0	0	0	34	245	873	2263	3632	4256	3960	3140	1257	1050	1210	1186	1413	2148	624	103	0	0	0	0
15.08.15	22122		0	0	0	0	0	3	117	663	888	1679	1906	2343	2686	1255	3834	3279	2515	850	104	0	0	0	0	0
15.09.15	42840		0	0	0	0	0	12	243	1159	3164	4537	5382	5825	5736	5536	4802	3697	2147	591	9	0	0	0	0	0
15.10.15	30699		0	0	0	0	0	0	72	802	2231	3746	4674	5239	5171	4390	2829	1356	188	1	0	0	0	0	0	0
15.11.15	5226		0	0	0	0	0	0	62	470	575	1072	1743	947	275	44	36	2	0	0	0	0	0	0	0	0
15.12.15	16455		0	0	0	0	0	0	5	246	1305	2671	3686	3849	2918	1095	675	5	0	0	0	0	0	0	0	0

На основі табл. 1 для Цекинівської СЕС було побудовано гістограми, які представлені на рис. 1.

Основними факторами, які впливають на вироблення енергії на СЕС є сонячна активність та кліматичні умови такі як хмарність, вологість та температура. З рис. 2 можна побачити, що на Цекинівській СЕС сумарно найбільше електроенергії виробляється в червні, а найменше у грудні, це пояснюється величиною світлового дня. На рис. 1 в.г.д, видно виробництво електроенергії у весняні місяці, не зважаючи на те, що світлові дні 15.04 та 15.05 довші ніж у березні, найбільше електроенергії було згенеровано 15.03. На гістограмі за 15 квітня (рис. 1 г) видно негативний вплив погодних факторів майже весь день з короткими проясненнями о 12 та 17 годинах. На гістограмі за 15 травня (рис. 1 д) видно погіршення погоди у другій частині дня і о 15 годині виробництво електроенергії суттєво знизилось. Для підвищення ККД сонячних панелей вони мають працювати при оптимальній температурі не вище 25 °С,



тому взимку їх ККД підвищується, однак вироблення електроенергії менше через низьку сонячну активність та коротший світловий день. З гістограми для березня, вересня та жовтня на рис.1 в,з,и можна побачити, що через невеликі температури та беззмарне небо станція виробляє стільки ж енергії, як і у літні дні. На рис. 1 є видно як впливають на виробництво кліматичні фактори, коли піки генерації електроенергії змінюються значними падіннями і о 17 годині значне погіршення погодних умов спричиняє низький рівень генерації електроенергії, а о 18 годині погодні умови значно покращуються, що позитивно сприяє генерації електроенергії і вона різко зростає. Також можна простежити виробництво електроенергії в умовах тривалого впливу негативних кліматичних факторів та короткого світлового дня на рис. 1 а,б,і,ї, в ці дні генерація електроенергії тримається на низькому рівні з короточасними піками і з рис. 2 видно, що сумарна генерація за такі місяці, як листопад, грудень, січень та лютий є низькою в порівнянні з іншими місяцями. Одним з чинників негативного впливу у зимові місяці є опади: на площину сонячної панелі налипає сніг і відбувається обмерзання, що значно знижує рівень генерації електроенергії. Одним з рішень в такій ситуації могло б стати розміщення панелей у вертикальному положенні, щоб уникнути налипання снігу, однак рівень генерації все одно знизиться через невідповідність перпендикулярному положенню кута між падінням сонячних променів та площиною панелі.



Рис. 1. Гістограми на основі добового навантаження Цекинівської СЕС за 15 число кожного місяця) а) 15.01.2015; б) 15.02.2015; в) 15.03.2015; г) 15.04.2015; д) 15.05.2015; е) 15.06.2015; є) 15.07.2015; ж) 15.08.2015; з) 15.09.2015; и) 15.10.2015; і) 15.11.2015; ї) 15.12.2015



На основі даних річної статистики для цих СЕС було побудовано графіки перепадів генерації електроенергії впродовж року починаючи з грудня 2014 закінчуючи груднем 2015, який показано на рис. 2 для Цекинівської СЕС, на рис. 3 для Гніванської СЕС, на рис. 4 для Бершадської СЕС.

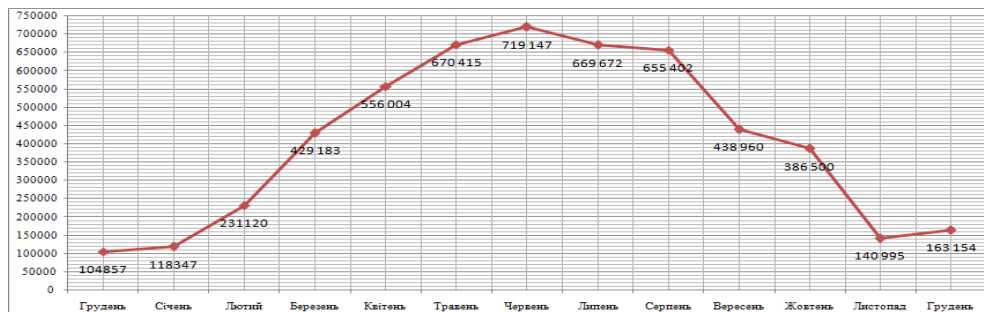


Рис. 2. Генерація електроенергії в кВт год Цекинівською СЕС з грудня 2014 року по грудень 2015 року

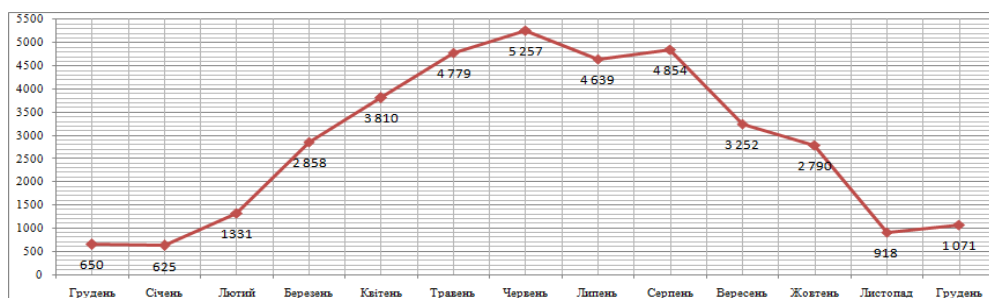


Рис. 3. Генерація електроенергії в кВт год Гніванською СЕС з грудня 2014 року по грудень 2015 року

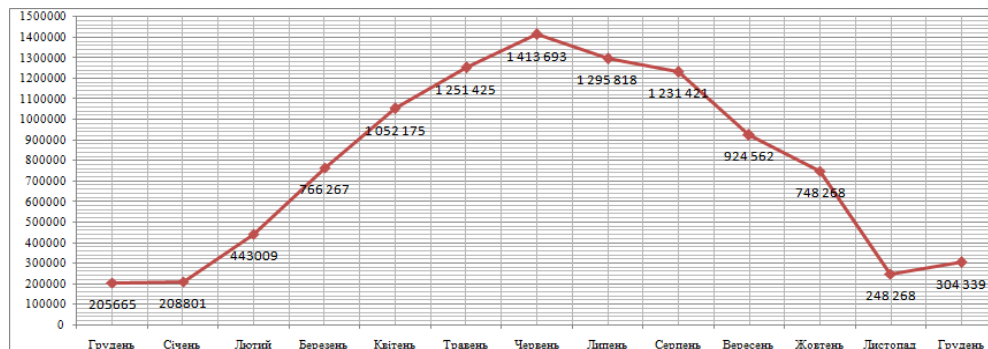


Рис. 4. Генерація електроенергії в кВт год Бершадською СЕС з грудня 2014 року по грудень 2015 року

Для демонстрації негативного впливу кліматичних факторів на роботу сонячної станції проаналізуємо відношення між генерацією електроенергії у різні місяці. У грудні 2015 року вироблено на 58297 кВт год або 36% більше ніж у грудні 2014 року. У листопаді 2015 року вироблено на 22159 кВт год або 14% електроенергії менше ніж у грудні 2015 року. Незначна різниця між генерацією у грудні 2014 і січні 2015 і складає 13490 кВт год або 11%, її можна порівняти з різницею між лютим і березнем, що складає 198063 кВт год або 46%. Окрім хмарності на роботу сонячної електростанції впливають також температура навколишнього середовища, запиленість та вологість повітря. Різницею в температурі можна пояснити генерацію 15.03 та 15.09 (рис. 1 в,з), коли були сонячні безхмарні дні, але 15 березня було згенеровано на 842 кВт год більше ніж 15 вересня; у ці два дні відсутні значні перепади між годинами у генерації електроенергії, тому з цього слідує, що був відсутній негативний вплив погодних факторів; кут нахилу сонячних панелей на СЕС орієнтований на максимальну генерацію в літній період, тому у вересні рівень генерації має бути вищим ніж у березні, однак зважаючи, що в 15.09 було згенеровано менше ніж 15.03, можна зробити



висновок, що температура у вересні була вища і сонячні панелі розігрівались більше. Впродовж дня температура змінюється поступово на 1-3°C за годину, а ККД сонячної панелі змінюється на 0,22%/°C [3], тому різкі зниження і підвищення генерації електроенергії зміною температури не можна пояснити. Вплив вологості повітря визначається тим, що водяна пара поглинає частину сонячного випромінювання, зменшуючи тим самим величину сонячної радіації, яка досягає площини сонячної панелі. Накопичення пилу на поверхні сонячної панелі проявляється з часом, зменшуючи цим величину ККД, що потребує періодичного очищення.

На основі табл. 2 проаналізуємо генерацію електроенергії на Гніванській СЕС. Порівнявши відповідні стрічки таблиці можна побачити, що у безхмарні сонячні дні березня та вересня сонячна станція виробляє більше електроенергії ніж у хмарні дні липня та серпня, коли проявлявся негативний вплив кліматичних факторів. На рис. 3 показано, що через хмарну погоду у липні станція згенерувала на 215 кВт год або 5% електроенергії менше електроенергії ніж у серпні, а у листопаді сонячна станція згенерувала на 153 кВт год або 14% електроенергії менше електроенергії ніж у грудні, незважаючи на те, що у серпні і грудні коротші світлові дні ніж у липні і листопаді відповідно. Один з найбільших стрибків у генерації відбувся між лютим і березнем і склав 1527 кВт год або 53%. Можна проаналізувати генерацію електроенергії на станції в однаковий період різних років порівнявши, що в грудні 2015 СЕС згенерувала на 421 кВт год або на 39% більше ніж у грудні 2014, що свідчить про суттєвий кліматичний вплив на роботу СЕС і що показники роботи станції в різні роки можуть відрізнятися практично більш ніж на третину, що потрібно враховувати при проектуванні та розрахунках терміну окупності.

З допомогою табл. 3 проведемо аналіз виробництва електроенергії на Бершадській СЕС. 15 березня та 15 травня вплив кліматичних факторів був досить сприятливим, тому виробництво електроенергії трималось на високому рівні впродовж дня, в той час, як у літні дні 15 липня і 15 серпня з табл. 3 порівнявши рівень генерації між різними годинами можна побачити, коли погодні умови починають погіршуватись і виробництво електроенергії о 10 і 11 годині 15 липня або 16 і 17 годині 15 серпня більше ніж в середині дня, коли сонячна активність максимальна. 15 квітня пік генерації електроенергії припав на 11 годину, а потім несприятливий вплив хмарності та інших кліматичних факторів призводить до зниження рівня генерації у години, коли сонячна активність повинна бути максимальною. Найменш продуктивні показники роботи сонячна станція показала 15 січня, що можна пояснити несприятливими погодними умовами та орієнтацією кута повороту панелей на максимальну генерацію у літні місяці. З рис. 4 видно, що пік виробництва електроенергії був у червні, однак у 2015 році через хмарну погоду у листопаді вироблено електроенергії на 56071 кВт год або 18% менше ніж у грудні, а у грудні 2014 і січні 2015 років виробництво майже однакове і відрізняється лише на 1,5%, хоча світлові дні у січні довші, це можна порівняти з різницею між лютим і березнем, яка складає 323258 кВт год або 42%, що свідчить про значну нерівномірність у генерації між різними місяцями року. Значна різниця знову простежується між груднем 2014 та груднем 2015 і складає 98674 кВт год або 32%. Подібні різниці у значеннях генерації між деякими місяцями простежується на сонячних станціях в інших частинах області, що свідчить про спільні кліматичні особливості у різних частинах Вінницької області.

На основі даних сумарної генерації електроенергії за 2015 рік на трьох СЕС розрахуємо сумарне вироблення електроенергії для сонячної панелі встановленою потужністю 1 кВт та інсоляцію у кліматичних умовах південної, центральної та південно-східної частин Вінницької області.

За 2015 рік Цекинівська СЕС при встановленій потужності 4136,45 кВт виробила 5178899 кВт год електроенергії, отже виробництво електроенергії на 1 кВт встановленої потужності вирахуємо за формулою:

$$W_{1кВт} = \frac{W_{\text{вир. заг.}}}{P} \quad (1)$$

де $W_{\text{вир. заг.}}$ – кількість електроенергії виробленої на станції за рік, кВт год;

P – встановлена потужність сонячної станції, кВт.

Вирахуване за формулою (1) значення $W_{1кВт} = 1252,015$ кВт год. Однак дане число може дещо змінюватися в більшу чи меншу сторону в різні роки залежно від погоди. На Цекинівській СЕС використовуються полікристалічні сонячні батареї різної ефективності з середнім ККД 14,4%, враховуючи ці дані можна розрахувати інсоляцію півдня Вінницької області за 2015 рік. 1 кВт встановленої потужності займає площу 7 м^2 , тоді для 1 м^2 встановлена потужність розраховується за виразом:

$$P_{1\text{м}^2} = \frac{1000}{S_{1кВт}} \quad (2)$$



де 1000 – встановлена потужність 1 кВт;

$S_{1\text{кВт}}$ – площа сонячних батарей з встановленою потужністю 1 кВт, м².

Розраховане за формулою (2) значення $P_{1\text{м}} = 142,857$ Вт. Згенерована за рік кількість електроенергії з 1 м² сонячних панелей визначається за виразом:

$$W_{1\text{в}} = \frac{W_{\text{вир.заг.}}}{P} \quad (3)$$

За формулою (3) було розраховано значення $W_{1\text{м}} = 178,859$ кВт год. Інсоляція для 1 м² за 2015 рік визначається за формулою:

$$I_{\text{нс}} = \frac{W_{1\text{в}}}{\eta} \quad (4)$$

де η – коефіцієнт корисної дії сонячної батареї.

Значення розраховане за формулою (4) склало $I_{\text{нс}} = 1242,08$ кВт год. Дане значення збігається з супутниковими даними, які представлені на (рис.5), де для Вінниччини даються значення річної інсоляції 1150-1300 кВт год [6].

На основі даних виробництва електроенергії на Цекинівській СЕС можна розрахувати середнє виробництво електроенергії за день для кожної пори року та інсоляцію південного регіону Вінницької області в різні пори року використовуючи формули (1), (2), (3), (4). Результати аналізу представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Результати розрахунків генерації електроенергії та інсоляції для кожної пори року

Пора року	Генерація з 1 м ² , кВт год	Середня генерація за 1 день з 1 м ² , кВт год	Сумарна інсоляція на 1 м ² , кВт год
Весна	57	0,62	396
Літо	70,5	0,77	489
Осінь	33,3	0,37	231
Зима	17,7	0,2	123

Дані значення показують різницю між сумарною кількістю сонячної радіації, яка поступає на 1 м² в різні пори року, з них видно, що різниця між освітленістю території, а отже і ефективністю генерації електроенергії між літом і зимою відрізняється практично в 4 рази, між весною то осінню – в 1,7 рази, однак необхідно враховувати, що аналіз проведений для статичних батарей, кут яких орієнтований на максимальне виробництво у літній період.

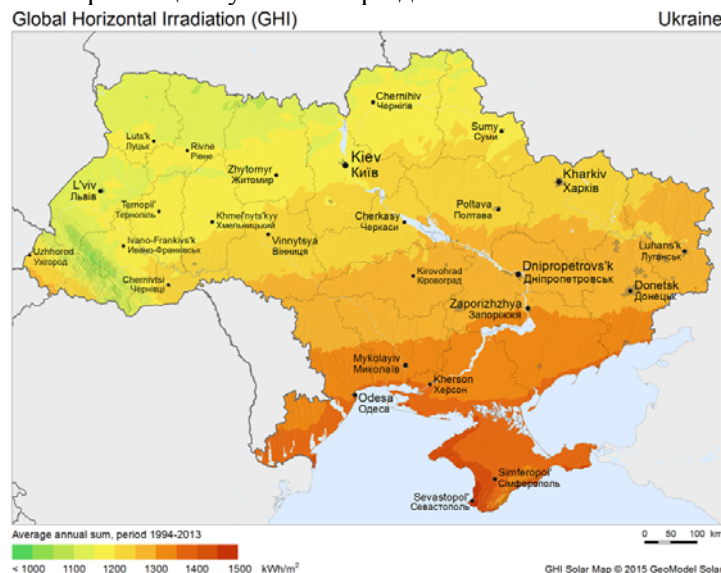


Рис. 5. Річна сумарна інтенсивність сонячного випромінювання для України за 1994-2013 роки

За 2015 рік Гніванська СЕС при встановленій потужності 34 кВт виробила 36184 кВт год електроенергії. На даній СЕС використовуються полікристалічні сонячні батареї з ККД 6%. 1 кВт встановленої потужності виробляється з площі 15 м². Щодо Бершадської СЕС, то за 2015 рік при встановленій потужності 7000 кВт вона виробила 9888056 кВт год електроенергії. На Бершадській



СЕС використовуються полікристалічні сонячні батареї з ККД 15,5%. 1 кВт встановленої потужності виробляється з площі 7 м². Отже за аналогією до попередніх розрахунків проведемо розрахунки за виразами (1), (2), (3), (4), результати яких для Гніванської СЕС і Бершадської СЕС представлено в табл. 5.

Таблиця 5

Результати розрахунків для Гніванської СЕС і Бершадської СЕС.

СЕС	$W_{1кВт}$, кВтгод	$P_{1м^2}$, Вт	$W_{1м^2}$, кВт год	Інс, кВт год
Гніванська	1064,235	66,667	70,949	1182,483
Бершадська	1414,579	142,857	202,083	1303,759

Отримане за результатами розрахунків для Гніванської СЕС значення інсоляції 1182,483 кВт год збігається з супутниковими даними, які представлені на рис. 5, де для Вінниччини даються значення річної інсоляції 1150-1300 кВт год. З супутникових даних, що представлені на рис. 5, видно, що річна інсоляція центральних і північних районів Вінницької області практично однакова, тому дані з Гніванської СЕС по річній інсоляції 1182,483 кВт год можливо використовувати для північних районів області. Для Бершадської СЕС отримане значення інсоляції 1303,759 навіть на 3 кВтгод перевищує супутникові показники, які представлені на (рис. 5), де для Вінниччини даються значення річної інсоляції 1150-1300 кВт год, однак приведені показники – це середнє значення за 19 років, тому дана різниця не значна.

Проведемо аналіз генерації електроенергії за кожен місяць з площі 1 м² для трьох СЕС використовуючи формули (1), (2), (3), результати аналізу представлені на рис.6.

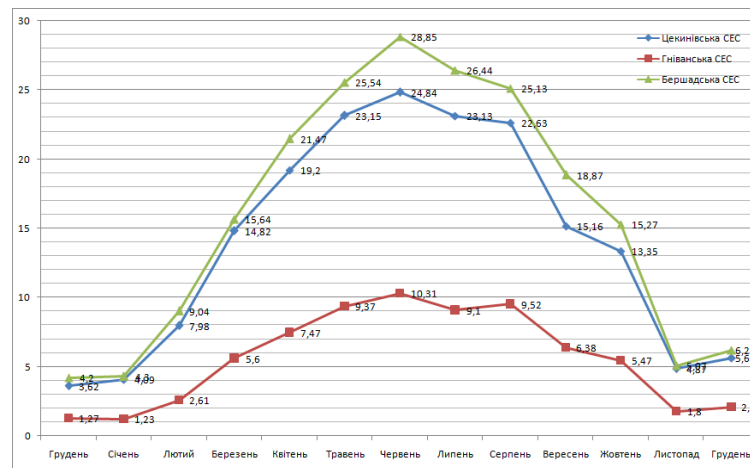


Рис. 6. Генерація електроенергії за кожен місяць з 1 м² в кВт год для трьох СЕС з грудня 2014 до грудня 2015

З рис. бвидно, що графіки генерації значно відрізняються і це, окрім впливу кліматичних факторів, пояснюється головним чином різним ККД сонячних панелей на різних станціях. Як видно найвищі показники у Бершадській СЕС, де використовуються панелі з ККД 15,5%, нижчі показники генерації показує Цекінівська СЕС, де використовуються панелі з ККД 14,4% і найнижчі показники у Гніванській СЕС, де використовуються панелі з ККД 6%.

З аналізу роботи даних трьох сонячних станцій можна зробити висновок, що річні показники роботи в різних частинах області і вираховані показники річної інсоляції відрізняються через різну погоду. В той же час станціям в різних частинах області притаманні такі спільні особливості роботи, як те, що на всіх станціях найбільше електроенергії було вироблено в червні; в листопаді 2015 року на трьох станціях було вироблено в середньому на 15% менше електроенергії ніж в грудні 2015, а в грудні 2015 вироблено в середньому на 35,5% більше електроенергії ніж у грудні 2014 року; ще одна спільна риса те, що найменше електроенергії на всіх станціях було вироблено в січні і різниця між груднем 2014 і січнем 2015 незначна і складає в середньому 5,8%, що можна порівняти з різницею між лютим та березнем, яка складала в середньому 47%, однак треба врахувати ще те, що в лютому було на 3 дні менше ніж у березні. З розрахунків інсоляції в трьох різних частинах області можна зробити висновок, що супутникові дані по річній інсоляції України на рис. 5 є достовірними для умов Вінницької області і актуальними для розрахунків при проектуванні сонячних станцій. Технічно



можливий потенціал генерації електроенергії за допомогою сонячних батарей для Вінницької області складає $14,8 \times 10^7$ МВт год за рік, з яких економічно доцільним є $2,3 \times 10^5$ МВт год за рік [10]. В той час як загальне виробництво електроенергії в Україні за 2015 рік складало 157264,8 млн. кВт год, в тому числі 1482,4 млн. кВт год було вироблено за допомогою альтернативних джерел енергії, з яких 475 млн кВт год електроенергії було згенеровано на сонячних станціях України [8].

Розглянемо питання орієнтації сонячних панелей. На Цекинівській СЕС використовують стаціонарно встановлені сонячні панелі, які не відслідковують положення сонця. Вони встановлені під таким кутом, що сонячне проміння падає на площину панелі перпендикулярно в той період дня, коли сонце знаходиться в зеніті і його активність максимальна за добу. Кут нахилу сонячних панелей також розташований таким чином, щоб площина панелі лежала перпендикулярно до сонячних променів у сезони з найвищою сонячною активністю, тобто у літній період. З цього слідує, що в зимовий період (рис. 1 а,б,ї) низький рівень генерації в ці дні пояснюється не тільки поганою погодою та низькою сонячною активністю, а і більшим відхиленням від перпендикулярного положення кута падіння сонячних променів на площину панелі ніж у літній період. З цього можна зробити висновок, що навіть у стаціонарно встановлених панелей для збільшення генерації потрібно періодично змінювати кут їх нахилу залежно від широти на якій вони розташовані на поверхні планети. З гістограм (рис. 1 в,е,ж,з,и) видно, що при відсутності хмарності пікова генерація припадає на 13 або 14 годину. На основі 15.03 та 15.09 (рис.1 в,з), як днів в які найменше простежується негативний вплив погодних факторів, можна визначити зміну генерації по годинно. Проведемо аналіз, на якому показано наскільки змінилась генерація відносно попередньої години, результати якого представлені в табл. 6.

Таблиця 6

Різниця в генерації на СЕС відносно попередньої години за 15.03 і 15.09

15.03.2015			15.09.2015		
Години	Різниця, кВт год	Різниця, %	Години	Різниця, кВт год	Різниця, %
7	30		8	196	
8	455	1517	9	680	347
9	1061	219	10	913	104
10	703	46	11	691	39
11	794	35	12	446	18
12	136	4,5	13	218	7,5
13 (пік)	316	10	14 (пік)	10	0,32
14	189	5,4	15	195	6,2
15	476	14	16	416	14
16	773	27	17	783	31
17	844	41	18	1001	57
18	939	77	19	485	64
			20	270	98,5

На основі табл. 6 побудуємо графіки, які демонструють відношення різницю в генерації у відсотках відносно години дня. Даний графік представлено на рис. 7.

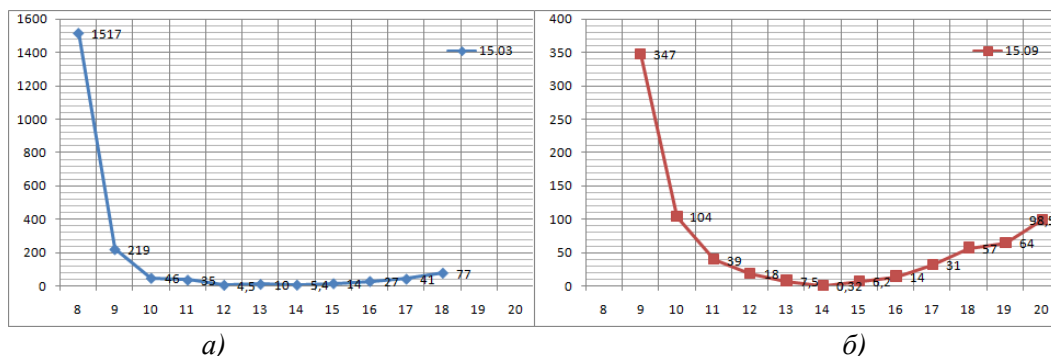


Рис. 7. Різниця в генерації на СЕС відносно попередньої години а) 15.03.2015; б) 15.09.2015

З проведеного аналізу (рис. 7) видно, що зранку з кожною годиною різниця в генерації



відносно попередньої години зменшується, що видно по відсотковим значенням, доки не досягає максимального значення генерації сонячною панеллю, що свідчить про те, що кут падіння сонячних променів досяг найближчого значення до перпендикуляру відносно площини панелі, після чого генерація починає знижуватись і різниця в генерації між кожною годиною зростає, доки не досягає нуля в темний період доби. Також як видно з проведеного аналізу, порівнявши 15.03 та 15.09 видно, що пік генерації змістився з 13 години у березні на 14 годину у вересні, що свідчить про вплив різниці між висотою сонця над горизонтом у різні пори року, а також показує, що кут падіння сонячного проміння ближче до перпендикулярного значення відносно площини панелі у вересні ніж у березні, що також підтверджує орієнтацію панелей на максимальну генерацію у літній період.

На більшості сонячних станцій Вінницької області використовують стаціонарне встановлення сонячних панелей. Для підвищення згенерованої електроенергії використовують трекерні системи та сканери сонячних променів. В порівнянні з нерухомими, динамічні сонячні панелі генерують за рік на 30% більше електроенергії [11]. Стаціонарні сонячні батареї виставляють з таким кутом, щоб сонячне проміння падало перпендикулярно площині сонячної батареї опівдні, тому і максимальна генерація електроенергії за день при відсутності хмарності відбувається о 12-13 годині дня. Рухомі трекерні системи дозволяють генерувати більше електроенергії зранку та ввечері за рахунок того, що площина сонячної панелі розвернута перпендикулярно до падіння сонячного проміння не лише в один період дня, а весь день [13]. Якщо ж поглянути на гістограми на рис. 1, де показана добова генерація стаціонарно встановлених панелей, то видно, що пік виробництва, при відсутності впливу кліматичних факторів, припадає на 13 годину, коли кут падіння сонячних променів найближчий до перпендикулярного.

Вінницька область займає сприятливе місце для розташування сонячних електростанцій, за рівнем інсоляції вона займає сприятливу широту серед регіонів України для розвитку сонячної енергетики, що представлено на рис. 5. Враховуючи те, що у провідних європейських країнах таких, як Німеччина чи Данія, де рівень розвитку сонячної енергетики значно вищий ніж в Україні, показники річного сумарного сонячного випромінювання нижчі [6] [9]. Для Вінницької області ефективним буде будівництво не лише великих СЕС, але і використання малопотужних сонячних станцій для електропостачання невеликих підприємств та ферм, для яких будувати нові електричні мережі та підстанції економічно не вигідно. Для будівництва невеликих сонячних станцій непотрібно значні капіталовкладення, тому це стає можливим для дрібних домогосподарств та сімей, встановити на дахах власних будинків сонячні панелі, генерацією яких забезпечуватимуться власні потреби, а невикористана електроенергія продаватиметься в мережу. Подібний досвід розвитку сонячної енергетики притаманний Німеччині, де створюються програми державної підтримки для будівництва сонячних станцій саме невеликими домогосподарствами, тому більшість згенерованої електроенергії з використанням сонячної енергетики надходить в енергомережу саме від приватних житлових будинків [14]. Для таких дрібних підприємств доцільно покривати дахи будівель сонячними панелями для економії земельних площ. В якості прикладу подібного встановлення сонячних панелей на Вінниччині можна назвати Гніванську СЕС, яка розташована на Гніванському шиноремонтному заводі. Для демонстрації перспективності даної галузі в Україні можна порівняти рівень інсоляції з Німеччиною, в якій сонячна енергетика активно розвивається. В південних регіонах Німеччини рівень інсоляції складає 1100-1200 кВт год/м² за рік, в той же час, як в Україні такі показники притаманні північним регіонам, що можна побачити з рис. 5. Всього в Німеччині виробляється 590000 ГВт год електроенергії на рік, з яких 35000 ГВт год виробляється на СЕС, що складає 5,93% від всієї генерації. Для України при річному виробництві 157264,8 ГВт год електроенергії величина 35000 ГВт год склала б 22,25% [8]. При виробництві з 1 т вугілля 7 МВт год електроенергії 35000 ГВт год рівноцінне 5 млн. т вугілля, а при виробництві з 1000 м³ природного газу 11 МВт год електроенергії економія газу склала б 3,2 млн. м³ [8].

Завданням для подальших досліджень з питання сонячної енергетики в Україні є аналіз конкретних регіонів України з різними кліматичними умовами на предмет ефективності використання сонячної енергетики. Проведення аналізу генерації сонячних панелей з використанням трекерних установок і порівняння з генерацією електроенергії стаціонарними панелями погодинно та посезонно. Важливим є проведення аналізу розташування сонячних модулів в місцях, де не буде втрат через використання корисної площі, наприклад на дахах будівель та в зонах відчуження залізничних шляхів, та величина можливої згенерованої потужності при такому встановленні. Також в подальшому дослідження будуть направлені на уточнення розрахункових методик визначення рівня використання встановленої потужності СЕС з урахуванням статистичних досліджень.



Висновки

Виробництво електричної енергії за допомогою сонячних станцій має високий потенціал для розвитку як у Вінницькій області так і у інших регіонах України, це підтверджує аналіз статистичних даних. Водночас треба зазначити що, потужність сонячних станцій в загальній енергомережі є дуже малою і завданням держави є розробка і впровадження дієвої стратегії з підтримки розвитку альтернативних джерел електропостачання в цілому та сонячної енергетики окремо на прикладі інших держав. Якби в Україні був такий же розвиток сонячної енергетики як у Німеччині, то за рахунок сонячної енергії можна було б покрити 22% потреб України в енергетиці і зекономити кожен рік 5 млн. т вугілля або 3,2 млн. м³ природного газу[8], що безумовно справило б позитивний вплив на економіку України.

Завданням для подальших досліджень є проведення поглибленого аналізу генерації сонячних панелей з використанням трекерних установок погодинного та посезонного регулювання їх орієнтації. В подальшому необхідні статистичні дослідження направленні на уточнення розрахункових методик визначення рівня використання встановленої потужності.

Список літератури

1. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія. / Г.Г.Півняк, Шкрабець Ф.П. – Дніпропетровськ: Нац. гірн. Ун-т Д.: НГУ, 2013. – 109 с.
2. Мазур О.В. Альтернативна енергетика в забезпеченні енергетичної безпеки України / О.В. Мазур, Л.П. Артеменко // Актуальні проблеми економіки та управління: збірник наукових праць молодих учених. – 2015. – №9. – Київ: НТУУ КПІ, 2015. – С. 55-60.
3. Юрченко А.В. Статистическая модель кремниевых солнечных батарей, работающих под воздействием природных и аппаратных факторов / А.В. Юрченко, А.В. Волгин, А.В. Козлов // Известия Томского политехнического университета. – 2009. Т. 314. № 4. – Томск – С. 142-148.
4. Промислові сонячні електростанції [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://rentechno.ua/ua/portfolio/solar-plants.html> – Назва з екрану.
5. Сонячні станції Вінницької області [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://rengydevelopment.com/ua/projects> – Назва з екрану.
6. MapsofGlobalhorizontalirradiation[Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI> – Назва з екрану.
7. Лежнюк П.Д. Оцінювання впливу джерел відновлювальної енергії на забезпечення балансової надійності в електричній мережі / П.Д. Лежнюк, В.О. Комар, Д.С. Собчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 6 – Вінниця – С. 45-47.
8. Енергетична галузь України: підсумки 2015 року. Центр Разумкова[Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.razumkov.org.ua/ukr/article.php?news_id=1295 – Назва з екрану.
9. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії в Україні у світлі нових європейських ініціатив [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://old.niss.gov.ua/monitor/november08/2.htm> – Назва з екрану.
10. Кудря С.О. Атлас енергетичного потенціалу відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії України / С.О.Кудря, Л.В. Яценко, Г.П. Душина, Л.Я.Шинкаренко, В.Т.Довга, П.Ф. Васько, А.О.Бриль, А.В.Шурчков, Г.М. Забарний, М.М.Жовмір, Ю.А.Віхарев. – Київ: НАНУ, 2001. – С. 40.
11. На Кіровоградщині запрацювала перша в Україні рухома сонячна електростанція [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.eramedia.com.ua/article/210625-na-krovogradschin-zapratcyuvala-persha-v-ukran-ruhoma-sonyachna> – Назва з екрану.
12. Бурбело М.І. Пульсуюча потужність як критерій аварійного режиму ліній зв'язку між електроенергетичною системою та сонячними електростанціями / М.І. Бурбело, С.М. Мельничук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 2 – Вінниця – С.57-60.
13. Поворотні трекери для сонячних батарей [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://greenchip.com.ua/26-0-0-1.html> – Назва з екрану.
14. Альтернативные источники энергии в Германии: текущее состояние и прогнозы развития [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.energya.by/alternativnyie-istochniki-energii-v-germanii-tekushhee-sostoyanie-i-prognozy-razvitiya/> – Назва з екрану.

References

1. Pivnyak G. Alternativna energetika v Ukraini: monographiya. / G.PivnyakF.Shkrabets - Dnipropetrovsk: Nat. girn. Un-etc. : NSU, 2013. - 109 p.
2. Mazur O. Alternativna energetika v zabezpechenni energetichnoi bezpeki Ukraini / O. Mazur, L. Artemenko // Aktualni problem ekonomiki ta upravlinnya: zbirnyk naukovykh prats molodykh uchenykh. - 2015. - №9. - Kyiv, NTU KPI, 2015. - P. 55-60.
3. Yurchenko A.V. Statystycheskaya model kremnyevykh solnechnykh batterey robotayuschykh podvozdeystviem pryrodnykh y apparatnykh faktorov / A.V. Yurchenko, A.V. Volhyn, A.V. Kozlov // Yzvestiya Tomskoho polytehnycheskoho



universityeta . - 2009. T. 314. № 4. - Tomsk - P. 142-148 .

4. Promyslovi sonyachni elektrostantsiyi [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://rentechno.ua/ua/portfolio/solar-plants.html>- Nazva z ekranu.
5. Sonyachni stantsiyi Vinnytskoyi oblasti [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://rengydevelopment.com/ua/projects>- Nazva z ekranu.
6. Maps of Global horizontal irradiation [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI>- Nazva z ekranu.
7. Lezhniuk P.D. Otsinyuvannya vplyvu dzhherel vidnovlyuvalnoyi enerhiyi na zabezpechennya balansovoyi nadiynosti v elektrychniyi merezhi / P.D. Lezhniuk , V.A. Komar , D.S. Sobchuk // Visnyk Vinnytskoho politechnichnoho instytutu . 2013. № 6 - Vinnytsya - C. 45-47 .
8. Enerhetychna haluz Ukrainy : pidsumky 2015 roku . Tsentr Razumkova [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu : http://www.razumkov.org.ua/ukr/article.php?news_id=1295 – Nazva z ekranu .
9. Netradytsiyitavidnovlyuvalni dzhherelaenerhiyivUkrayini usvitlinovyh yevropeyskyhinitiatyv [Elektronnyyresurs] – Rezhymdostupu: <http://old.niss.gov.ua/monitor/november08/2.htm> - Nazvazekranu.
10. Kudrya S.O. Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovlyuvalnyh ta netradytsiynyh dzhherel enerhiyi Ukrainy / S.O. Kudrya, L.V. Yatsenko, H.P. Dushyn, L.Y. Shinkarenko V.T.Dovha, P.F. Vasco, S.A. Brill, A. Shurchkov, H.M. Zabarnyy, M.N. Zhovmir, Y.A. Vikharev. - Kyiv, NANU, 2001. - S. 40.
11. Na Kirovohradschyni zapratsyuvava persha v Ukraini ruhoma sonyachna elektrostantsiya [Elektronnyy resurs] – Rezhymdostupu: <http://www.eramedia.com.ua/article/210625-na-krovogradschin-zapratsyuvava-persha-v-ukraini-ruhoma-sonyachna> / - Nazva zekranu.
12. Burbelo M.I. Pulsuyucha potuzhnist yak kryteriy avariynoho rezhymu liniy zv'yazku mizh elektroenerhetychnoyu systemoyu ta sonyachnymy elektrostantsiyamy / M.I. Burbelo S.M. Melnychuk // Visnyk Vinnytskoho politechnichnoho instytutu . 2013. № 2 - Vinnytsya - C.57-60 .
13. Povorotni trekery dlya sonyachnyh batarey [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://greenchip.com.ua/26-0-0-1.html> - Nazvazekranu.
14. Alternatyvnie ystochnyky enerhiy v Hermanyi: tekushee sostoyanye uprohozirazvytytya [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://www.energya.by/alternativnyie-istochniki-energii-v-germanii-tekushhee-sostoyanie-i-prognozyi-razvitiya/> - Nazvazekranu.

АНАЛИЗ ЭФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ВИННИЦКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация: в статье проведен анализ генерации электроэнергии на солнечных станциях Винницкой области, рассчитана инсоляция в разных частях области. Проведено исследование эффективности генерации электроэнергии почасово и в разное время года. Даны рекомендации по дальнейшему развитию исследований солнечной энергетики.

Ключевые слова: солнечная электростанция, инсоляция, суточная генерация, солнечная панель.

EFFICIENCY ANALYSIS OF POWER GENERATIONBASED ON SOLAR ENERGY INVINNYTSIA REGION

Summary: the article analyzes the solar power generation stations of Vinnitsa region, calculated insolation in different parts of the region. We have analyzed the efficiency of power generation hourly and in different seasons. We have given recommendations about further development researches of solar energy.

Keywords: solar power, insolation, daily generation, solar panel.