



ВИБІР ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ТА ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

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: запропоновано методику вибору встановленої потужності сонячної електростанції не лише на основі перепадів рівня споживання електроенергії, а і на основі перепадів рівня генерації. Враховано відмінність між рівнем встановленої потужності сонячних панелей та фактичним рівнем генерації. Проведено розрахунок рівня генерації в різні пори року для СЕС з різною встановленою потужністю, для Вінницької області.

Ключові слова: сонячні панелі, встановлена потужність сонячних панелей, СЕС, інвертори, акумулятори, пусковий струм.

Постановка проблеми

При проектуванні сонячних електростанцій зазвичай орієнтуються на величину встановленої потужності сонячних батарей, при цьому не враховуючи, що різниця між встановленою потужністю та згенерованою електроенергією може бути досить значною залежно від різноманітних факторів навколишнього середовища. Через це очікування щодо згенерованої електроенергії можуть бути завищеними і можливостей сонячної електростанції виявиться недостатньо для покриття потреб споживачів в електроенергії. Тому потрібно розробити методику вибору встановленої потужності сонячної електростанції, яка буде враховувати не лише рівень споживання електроенергії, але також і рівень генерації сонячними панелями з урахуванням зниження їх ефективності.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Дослідження щодо вибору потужності сонячних панелей проводилися в роботі Г.П. Охоткіна [1], але не було враховано величину добової генерації та її зміну впродовж доби та пори року. Дослідження щодо оптимізації проектів будівництва СЕС проводили Кожем'яко В.П., Домбровський О.Г., Маліновський В.І. [2]. В роботі Бацала Я.В., Гладя І.В. та Николина У.М. проводилося дослідження показників якості електроенергії сонячної електростанції [3].

Результати досліджень

Розглянемо визначення встановленої потужності СЕС енергопостачання споживача. Першим кроком необхідно розробити графік навантаження. За цим графіком визначається найнижча межа встановленої потужності сонячних батарей за піковими рівнями навантаження – коли сумарна потужність підключеного обладнання найвища. Але цього недостатньо, тому що сонячна електростанція повинна за день зарядити акумуляторну установку настільки, щоб цього вистачило на електропостачання обладнання в темну пору доби. Потрібно враховувати такі особливості сонячної енергетики як падіння рівня генерації при хмарності та невеликий рівень генерації в ранкові та вечірні години, тому важливим є оптимізувати добовий графік навантаження, що включатиме рівномірний розподіл навантаження на всю добу та можливість для підзарядки акумулятора вдень настільки, щоб компенсувати зниження рівня генерації в темну пору доби. Денний рівень генерації сонячної панелі коливається в межах 10-50% [4][5] від встановленої потужності залежно від погоди та пори року, пікові рівні генерації припадають на середню частину світлового дня, зранку і ввечері рівень генерації складає 10-15% від встановленої потужності. Ще однією важливою особливістю є те, що електроспоживачі з рухомими елементами, такі як електродвигуни, мають високі пускові струми, тому цю особливість треба враховувати при проектуванні СЕС. При розробці графіка включень всі потужні електроспоживачі потрібно вмикати на період з 11 до 15 години дня, коли сонячна активність максимальна [3], але і у ці години рівень генерації коливається у діапазоні 80-90% від встановленої потужності і це за умови безхмарної погоди. У статтях [4],[5] показано величину перепадів у генерації СЕС впродовж доби та між різними сезонами. Наприклад СЕС встановленою потужністю 4136 кВт у літній безхмарний день за 13 годину генерує 3100 кВт год, в той же день за 7 годину ранку генерує 159 кВт год. Ця ж електростанція в січневий



день о 13 годині генерує 387 кВт год, а за весь день було згенеровано 1655 кВт год, тобто СЕС за весь зимовий день генерує практично в 2 рази менше електроенергії ніж у за 1 годину у безмарний літній день. У статті [5] рівень використання встановленої потужності сонячних панелей на СЕС південної частини Вінницької області за рік відображається на графіку, за яким побудовано рівняння регресії:

$$B = 4,56 \cdot e^{\frac{-(t-7,34)^2}{2 \cdot 3,43^2}} \quad (1)$$

де t – вісь абсцис з позначенням місяців;

B – вісь ординат з позначенням відсотків генерації відносно встановленої потужності;

e – число Ейлера.

У рівнянні (1) величина ймовірної генерації відносно якої порівнювалась фактична розраховувалась тільки для величини світлового дня, яка в кожному місяці була інша. Це означає що ймовірна генерація розраховувалась тільки для 9-15 годин роботи на 100% встановленої потужності [5] залежно від величини світлового дня в кожному місяці. Втабл. 1 показано фактичний рівень використання встановленої потужності відносно ймовірного рівня генерації, при якому сонячні панелі працювали б 24 години на добу на 100% встановленої потужності, тому рівень використання нижчий ніж в розрахунках статті [5]. Встановлена потужність СЕС 4500 кВт.

Таблиця 1

Результати аналізу рівня використання встановленої потужності відносно ймовірного рівня генерації СЕС південної частини Вінницької області за період грудень 2014 року – грудень 2015 року

Місяць	Кількість днів	Ймовірна величина генерації, W_{MP} , кВт год	Фактична величина генерації, W_{M3} , кВт год	Рівень використання, B , %
Грудень	31	3348000	121929	3,64
Січень	31	3348000	126002	3,76
Лютий	28	3024000	264579	8,75
Зима 2014-2015	90	9720000	512510	5,27
Березень	31	3348000	527754	15,76
Квітень	30	3240000	676578	20,88
Травень	31	3348000	842337	25,16
Весна 2015	92	9936000	2046669	20,59
Червень	30	3240000	887645	27,39
Липень	31	3348000	762054	22,76
Серпень	31	3348000	798528	23,85
Літо 2015	92	9936000	2448227	24,63
Вересень	30	3240000	550974	17,01
Жовтень	31	3348000	473921	14,15
Листопад	30	3240000	177451	5,48
Осінь 2015	91	9828000	1202346	12,23
Грудень	31	3348000	152111	4,54
Загальне за 2015 рік	365	39420000	6239934	15,83

За табл. 1 побудовано річний графік використання встановленої потужності.



Рис. 1. Графік рівня використання встановленої потужності сонячних панелей на СЕС південної частини Вінницької області за грудень 2014 року – грудень 2015 року

Графік статистичного рівня генерації на рис. 1 (синя лінія) описується рівнянням регресії:



$$B = 25,56 \cdot e^{\frac{-(t-7,32)^2}{23,53}} \quad (2)$$

За рівнянням (2) побудовано графік розрахункового рівня генерації (червона лінія), з рис. 1 видно різницю між величинами з фактичної статистики генерації та вирахованими значеннями за рівнянням регресії (2). Проведемо розрахунок дисперсії та середньоквадратичне відхилення для обох графіків. Для розрахунку дисперсії використаємо формулу:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (\chi_i - \bar{\chi})^2}{n-1}, \quad (3)$$

де n – об'єм вибірки;

χ_i – це окремі значення;

$\bar{\chi}$ – це середнє арифметичне для вибірки

Щоб розрахувати середньоквадратичне відхилення використаємо вираз:

$$\sigma = \sqrt{D}, \quad (4)$$

Дисперсія для графіка статистики складає 70,5, середньоквадратичне відхилення складає 8,4. Для графіка за рівнянням регресії дисперсія складає 48,6, середньоквадратичне відхилення складає 6,9. В рівнянні замість потрібного підставити порядковий номер місяця на горизонтальній осі, враховуючи, що першим буде грудень 2014 року, тоді буде отримано значення рівня величини використання встановленої потужності у відповідний період відносно ймовірної величини, яка відображає роботу сонячної панелі на 100% встановленої потужності 24 години на добу. Фактично величини B може замінити величину генерації за добу відносно встановленої потужності $W_{ГДВ}$, яка використовується в формулі (5) з тією відмінністю, що перша відображає вираховане значення, а друга значення на основі статистики реальної генерації СЕС.

В статті [1] наведена методика вибору встановленої потужності сонячної станції на основі потужності споживачів, але недоліком цієї методики є те, що там не враховується денна та сезонна зміна в генерації сонячних панелей, відхилення виробленої електроенергії від встановленої потужності та значення електроенергії, яку буде споживати електричне обладнання за добу в кВт год. Тому розробимо методику, яка буде враховувати вище наведені особливості сонячної енергетики. При викладенні методики для прикладу оберемо домогосподарство, яке знаходиться в кліматичних умовах південної частини Вінницької області. Найпершим є визначення сумарної потужності всіх електроспоживачів та час їх роботи (табл. 2).

З рис. 2 можна зробити висновок, що навантаження потрібно розосереджувати на всю добу і старатись уникати одночасного включення кількох потужних споживачів, якщо ж таке ввімкнення і відбувається то повинно бути короткостроковим і покриватись зарядом акумулятора. Зранку за рахунок увімкнення споживача 10 і споживача 4 навантаження високе, але короткострокове. У цей час сонячна панель генерує електроенергію лише близько 1% від своєї встановленої потужності, тому акумуляторна установка повинна покрити це навантаження. Як зазначалося вище, важливим є дотримання графіка навантаження. Одним з засобів автоматизації та регулювання навантаження впродовж доби є система «розумний дім», завдяки якій можливо оптимізувати графік добового споживання та накопичення електроенергії.

Таблиця 2

Перелік потужності електроспоживачів та часу їх роботи

Електроспоживач	Потужність, Вт	Час роботи за добу, год	Спожита електроенергія за добу, Вт год
Споживач 1 (електродвигун)	250	12	3000
Споживач 2	200	3	600
Споживач 3	400	3	1200
Споживач 4	1500	0,3	450
Споживач 5	100	6	600
Споживач 6 (електродвигун)	1500	0,5	750
Споживач 7	500	4	2000
Споживач 8 (електродвигун)	450	2	900
Споживач 9	1000	1,5	1500
Споживач 10	1200	0,3	360
Споживач 11	1100	0,5	550
Споживач 12 (електродвигун)	700	0,5	350
Споживач 13	200	2	400
Сумарно за добу			12660



З табл. 1 видно, що всі електроспоживачі за добу споживають 12660 Вт год електроенергії, додавши втрати потужності в акумуляторі, інверторі та коливання щоденного навантаження це число варто округлити до 13 кВт. Для розрахунку складемо графік роботи електроспоживачів з табл. 1. Графік зображено на рис. 2.

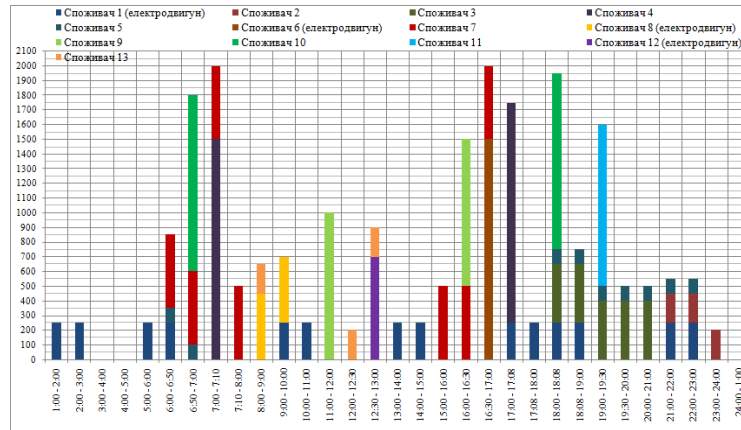


Рис. 2. Графік роботи побутових електроспоживачів впродовж доби

Розрахуємо величину встановленої потужності сонячної електростанції відповідно до генерації у різні пори року при однаковому споживанні. Навантаження за добу 13 кВт год. Для цього скористаємось виразом:

$$P = \frac{N}{W_{ГДВ}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

$W_{ГДВ}$ – величина згенерованої електроенергії відносно встановленої потужності, %;
де N – рівень сумарного навантаження усіх електроспоживачів за добу, Вт год;
24 – кількість годин роботи на добу.

Наведемо вираз, у якому буде визначено встановлену потужність сонячних батарей без врахування підключеного інвертора та акумулятора:

$$P_c = \frac{P}{\eta_A \cdot \eta_I}, \quad (6)$$

де P – встановлена потужність усієї сонячної станції з врахуванням акумулятора та інвертора, Вт;

η_A – ККД акумулятора;
 η_I – ККД інвертора.

Для зимового періоду проведемо розрахунок взявши середньостатистичні за період показники рівня використання встановленої потужності 5,27%. ККД інвертора – 0,9, ККД акумулятора – 0,8. $P = 10278$ Вт, $P_c = 14275$

СЕС буде генерувати в інші пори року відповідно до виразу:

$$N = \frac{P \cdot W_{ГДВ} \cdot 24}{100\%} \quad (7)$$

Значення P використовується тому що P_c враховує також втрати в інверторі та акумуляторі, а нам потрібно визначити величину на виході акумулятора, щоб знати перевиробництво або дефіцит електроенергії в інші пори року. Для весняного періоду $W_{ГДВ} = 20,59\%$, тоді при $P = 10278$ Вт за добу буде згенеровано 50790 Вт год, рівень перевиробництва складатиме 37790 Вт год за добу. Для літнього періоду $W_{ГДВ} = 24,63\%$, тоді $N = 60755$ Вт год, перевиробництво складатиме 47755 Вт год. Для осіннього періоду $W_{ГДВ} = 12,23\%$, тоді $N = 30168$ Вт год, перевиробництво складатиме 17168 Вт год.

Проведемо вибір встановленої потужності СЕС орієнтуючись на весняний рівень генерації, приймемо величину $W_{ГДВ} = 20,59\%$, за формулами (5) і (6) визначимо $P = 2630$ Вт, $P_c = 3652$ Вт. Для визначення величини генерації в інші пори року використаємо формулу (7). Для зимового періоду $N = 3326$ Вт год, рівень дефіциту складатиме 9674 Вт год на добу. Для літнього періоду $N = 15546$ Вт год, перевиробництво складатиме 2546 Вт год, для осіннього періоду $N = 7720$ Вт год, дефіцит складатиме 5280 Вт год.

Використаємо середній показник генерації за літній період для будівництва СЕС $W_{ГДВ} = 24,63\%$, тоді $P = 2200$ Вт, $P_c = 3055$ Вт. Для зимового періоду $N = 2783$ Вт год, дефіцит складатиме



10217 Вт год. Для весняного періоду $N = 10871$ Вт год, дефіцит складатиме 2129 Вт год. Для осіннього періоду $N = 6457$ Вт, дефіцит складатиме 6543 Вт год.

Для аналізу виберемо осінній показник $W_{ГДВ} = 12,23\%$, тоді $P = 4429$ Вт, $P_C = 6151$ Вт. Для зимового періоду $N = 5602$ Вт год, дефіцит складає 7398 Вт год. Для весняного періоду $N = 21886$ Вт год, перевиробництво складає 8886 Вт год. Для літнього періоду $N = 26181$ Вт год, перевиробництво складає 13181 Вт год.

Тепер проведемо аналіз взявши середньорічний показник $W_{ГДВ} = 15,83\%$, тоді $P = 3422$ Вт, $P_C = 4753$ Вт. Для зимового періоду $N = 4328$ Вт год, дефіцит складає 8672 Вт год. Для весняного періоду $N = 16910$ Вт год, перевиробництво складає 3910 Вт год. Для літнього періоду $N = 20228$ Вт год, перевиробництво складає 7228 Вт год. Для осіннього періоду $N = 10044$ Вт год, дефіцит складає 2956 Вт год. Зведемо всі дані в таблицю 3.

Таблиця 3

Величина генерації СЕС з різними параметрами для кожної пори року

Період для якого розраховувалась встановлена потужність СЕС		Зимовий	Весняний	Літній	Осінній	Річний
Встановлена потужність СЕС Р відповідно до пори року, Вт		10278	2630	2200	4429	3422
Середній за період рівень використання встановленої потужності $W_{ГДВ}$, %		5,27	20,59	24,63	12,23	15,83
Добовий рівень генерації, Вт год	Зима	13000	3326	2783	5602	4328
	Перевиробництво	0				
	Дефіцит	0	9674	10217	7398	8672
	Весна	50790	13000	10871	21886	16910
	Перевиробництво	37790	0		8886	3910
	Дефіцит		0	2129		
	Літо	60755	15546	13000	26181	20228
	Перевиробництво	47755	2546	0	13181	7228
	Дефіцит			0		
	Осінь	30168	7720	6457	13000	10044
	Перевиробництво	17168			0	
	Дефіцит		5280	6543	0	2956

За табл. 3 складемо графік генерації (рис. 3) для СЕС різної потужності впродовж року

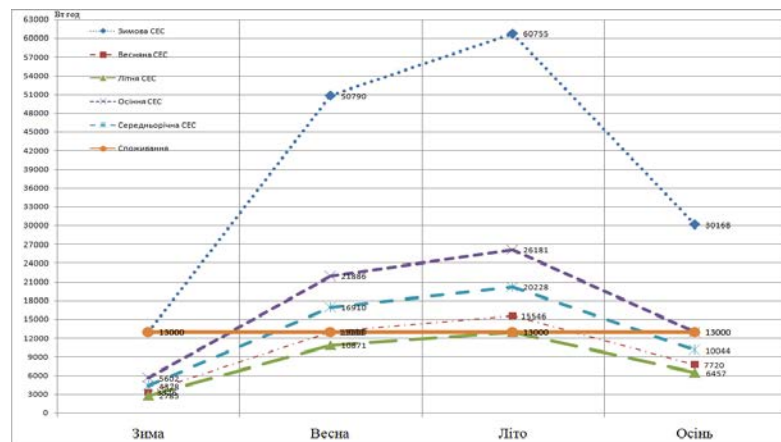


Рис. 3. Величина генерації СЕС різної потужності в різні пори року

Як видно з рис. 3 при однаковому споживанні за добу 13 кВт год впродовж року СЕС будуть генерувати за добу різні показники електроенергії. Увесь рік величину споживання буде покривати СЕС спроектована для зимових умов, однак у інші пори року вона буде генерувати значний залишок електроенергії, тому таку СЕС варто будувати лише при підключенні до мережі для продажу за «зеленим» тарифом. Другою по величині добової генерації іде СЕС спроектована для осінніх умов. Вона покриває



споживання для трьох пір року з перевиробництвом весною та влітку, однак воно не настільки велике як у зимовій СЕС, але взимку СЕС буде генерувати менше половини потрібної електроенергії, тому цей дефіцит потрібно буде покривати з інших джерел електроенергії. Інші СЕС покривають споживання лише для двох або однієї пори року, тому для домогосподарств без підключення до загальної електромережі потрібно при будівництві СЕС слід орієнтуватись на середньоосінні показники генерації.

Для розрахунку сонячної електростанції можна також прийняти дані генерації за один з осінніх днів, коли рівень генерації сонячних батарей не є найвищий за весь рік і вони зможуть забезпечити об'єкт електроенергією навіть при не найкращих умовах. На рис. 4а показано рівень генерації погодинно відносно встановленої потужності для осіннього дня з сонячною погодою, ККД полікристалічних сонячних панелей складає 15%.

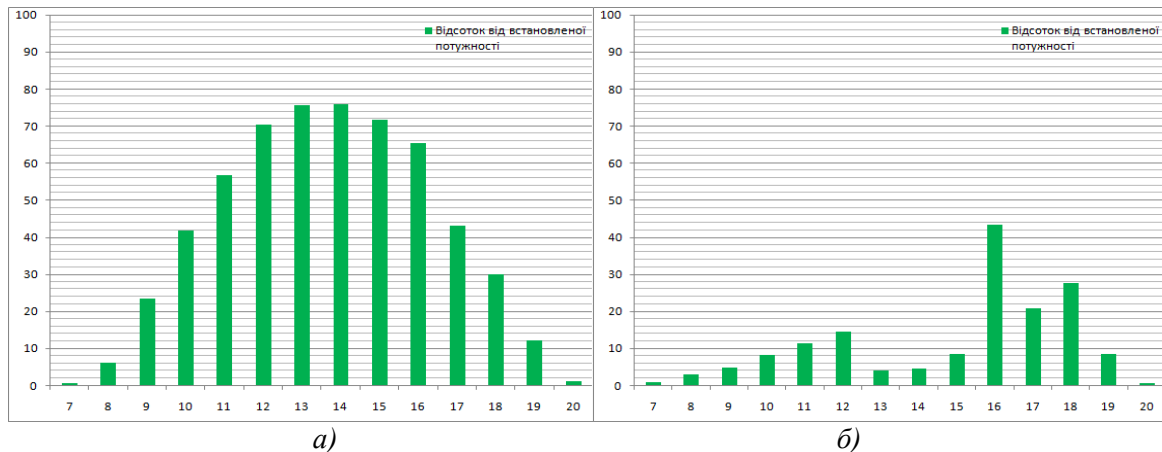


Рис. 4. Відсоток згенерованої електроенергії відносно встановленої потужності погодинно а) при сприятливих кліматичних умовах; б) при несприятливих кліматичних умовах

З рис. 4а видно, що найвищі показники роботи досягаються з 12 по 15 години, тому саме в ці години акумуляторна установка повинна заряджатись достатньо, щоб жити електроспоживачі зранку та ввечері, коли рівень генерації дуже низький. Для цього сонячна станція повинна обиратись з запасом встановленої потужності і не навантажуватись максимально, залишаючи частину електроенергії для накопичення. Однак запас встановленої потужності залежить від індивідуальних характеристик кожного домогосподарства і сумарної потужності електроспоживачів увімкнених в нічний час. На рис. 4б продемонстровано генерацію також в осінній день полікристалічними сонячними панелями з ККД 15%, але з поганою погодою. Як видно з рис. 4б несприятливі кліматичні умови значною мірою вплинули на величину згенерованої електроенергії і практично весь день електроспоживачам доведеться працювати за рахунок акумуляторної установки.

Важливою обставиною є також те, що сонячні батареї виробляють постійний струм, а більшості сучасних електроспоживачів потрібен змінний струм, тому для перетворення струму застосовують інвертори. Інвертори, при перетворенні постійного струму в змінний, вносять спотворення у форму синусоїди, тим самим погіршуючи якість струму. Для зниження рівня спотворення форми синусоїди необхідно використовувати фільтри.

При використанні домогосподарствами сонячних станцій невеликої потужності варто встановлювати один інвертор для усієї системи електропостачання, що буде економічніше ніж встановлення кількох інверторів невеликої потужності, але потужність інвертора обов'язково повинна бути не нижчою за потужність сонячної станції вищою за сумарну потужність всіх електроспоживачів, які працюватимуть одночасно, враховуючи величину пускових струмів.

Приведемо формули для розрахунку параметрів сонячної електростанції. Орієнтуючись на рис. 4а визначимо величину генерації за добу відносно встановленої потужності за виразом:

$$W_{ГДВ} = \frac{\sum W_{ГВ}}{2400} \cdot 100\% \quad (8)$$

де $W_{ГВ}$ – величина згенерованої електроенергії відносно встановленої потужності погодинно, %; 2400 – рівень генерації сонячної панелі виходячи з припущення, що вона б працювала постійно на повну потужність, тобто цілу добу генерувала б по 100% кожну годину.

Акумуляторна установка обирається на величину потужності, яка споживається з врахуванням того, що вона не повинна розряджатись більше ніж на половину, тому що



знижуватиметься її термін використання. Для розрахунку ємності акумуляторної установки скористаємось виразом:

$$C = \frac{N}{0,5 \cdot U_A \cdot \eta_A \cdot \eta_I}, \quad (9)$$

де 0,5 – значення розряду, яке показує, що акумулятор не буде розряджатись більше ніж на 50%;

U_A – робоча напруга акумуляторної установки, В.

Розраховавши значення за виразом (8) для випадку на рис. 4а отримаємо 24%. Провівши розрахунок за виразом (5) одержимо 2257 Вт. Встановлена потужність сонячної станції 2257 Вт є необхідною аби жити все обладнання, але при побудові автономної системи електропостачання неможливо уникнути втрат електроенергії. Втрати при цьому, окрім втрат при передачі, також будуть присутні в акумуляторній установці, а також в інверторі. Тому встановлена потужність самих сонячних батарей має бути вищою за 2257 Вт.

Для різних інверторів ККД буде відрізнятись в межах 0,7-0,9, але в середньостатистичного інвертора ККД складає 0,9, тому це число використаємо для розрахунку. Для розрахунку оберемо ККД акумуляторної батареї 0,8, в такому випадку встановлена потужність самих сонячних батарей без акумулятора та інвертора складатиме 3135 Вт, округливши дане значення в більшу сторону одержимо 3,2 кВт.

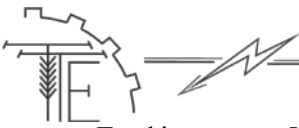
Акумулятори візьмемо напругою 24 В та за виразом (9) отримаємо 1504 А год, в даному випадку можна округлити дане значення до 1500 А год, ємності такої акумуляторної установки при повному заряді вистачить, щоб жити об'єкт при прийнятному для розрахунку навантаженні всю добу. Важливим елементом є контролер заряду, який запобігає перезаряду акумуляторних батарей, контролюючи їх напругу. Контролер заряду необхідно обирати орієнтуючись на вихідний струм сонячних панелей, який також повинен визначатися для періоду з максимальною генерацією за рік, цей струм має складати 85% від номінального струму контролера, такий запас пояснюється можливими короткочасними підвищеннями вихідного струму у період найбільш сприятливих кліматичних умов [6].

Інвертор необхідно вибирати за піковим навантаженням електричних споживачів, з рис. 2 очевидно, що потужність інвертора повинна бути не меншою за 2 кВт, але в списку споживачів електроенергії присутні такі прилади як електродвигуни, які також будуть присутніми в такому обладнанні як холодильник, пральна машина, пилосос. Ці прилади мають пускові навантаження, які можуть значно перевищувати їх номінальну потужність. Найпотужнішим є електродвигун з потужністю 1500 Вт, пусковий струм такого двигуна може бути досить значним, тому потрібно використовувати пристрої плавного пуску – софтстартери. В технічних параметрах для інвертора можуть зазначатися значення короткочасної пікової потужності, які переважають значення номінальної потужності. Більшість інверторів розраховані на величину вхідного струму 12В, 24В, 48В, 96В. Бажано обирати інвертор на величину вхідної напруги 24В або 48В, а не менше 24В.

На покриття пускових струмів також іде певна частина згенерованої енергії, для нашого випадку ця частка дуже мала, вона не перевищує 1% від добової генерації і є не надто високою, тому додатковий розрахунок не проводиться. Однак на підприємствах з потужним обладнанням, де проводяться часті пуски електродвигунів, втрати на пусковий струм потрібно розраховувати додатково, оскільки вони можуть бути досить помітними у загальному добовому споживанні електроенергії, в тому випадку потрібно враховувати, що пусковий струм є непостійним у часі і носить спадний характер, отже необхідно проводити відповідні інтегральні розрахунки. На рис. 5 представимо графік пускового струму для двигуна з номінальним струмом 5,5 А і пусковим струмом 20,8 А, тобто їх кратність складає 3,8.



Рис. 5. Графік пускового струму двигуна



Графік на рис. 5 можна описати рівнянням:

$$I_H = \frac{3It - 10}{2t^2} + 5,5, \quad (10)$$

де t – час пускового навантаження, мс.

Щоб порахувати величину спожитої електроенергії за рахунок дії пускового струму впродовж часу t потрібно скористатися виразом:

$$P_{СП} = \left(\int_{II}^{IK} \left(\frac{35t - 10}{2t^2} + 5,5 \right) dt - I_H \cdot t \right) \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot t, \quad (11)$$

де U – напруга мережі, В;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт, що показує величину активної потужності у складі повної потужності.

Розрахуємо кількість сонячних панелей ККД 15% для встановленої потужності 3,2 кВт. Для вибору сонячної панелі використаємо електронний ресурс [7]. Оберемо сонячну панель німецького виробництва встановленою потужністю 210 Вт з габаритами 1465 мм * 986 мм. Розрахуємо необхідну кількість панелей для домогосподарства:

$$n = \frac{P_C}{P_{1СП}}, \quad (12)$$

де $P_{1СП}$ – встановлена потужність однієї сонячної панелі, Вт.

Розраховане за формулою (12) значення складає 15,24, оскільки в нашому випадку при розрахунках встановленої потужності було отримане значення 3135 Вт, яке було округлене в більшу сторону, то можна кількість сонячних панелей округлити до 15, тоді встановлена потужність усієї станції складатиме 3150 Вт. Розрахуємо вартість всіх сонячних панелей:

$$Ц_{СПЗ} = n \cdot Ц_{1СП}, \quad (13)$$

де $Ц_{1СП}$ – вартість однієї сонячної панелі.

Розрахуємо значення площі необхідної для встановлення сонячних панелей:

$$S_{ГЗ} = n \cdot S_{1СП}, \quad (14)$$

де $S_{1СП}$ – площа однієї сонячної панелі, мм².

За формулою (14) отримаємо значення 21,68 м² або округлимо це значення до 22 м². Далі використовуючи електронний ресурс [8] можна знайти вартість інших компонентів сонячної електростанції. Інвертор, з врахуванням пускових струмів, був обраний потужністю 4,5 кВт, вхідна напруга інвертора складає 48 В, перевантаження інвертора допускається до 9000 Вт на більше 2 секунд. Акумуляторну установку було обрано на величину ємності 1500 А год, для цього використаємо гелеві акумулятори кількістю 7 акумуляторів ємністю 200 А год і 1 акумулятор ємністю 100 А год. Контролер заряду обираємо на величину напруги 48 В та силу струму 80 А. Також прилад плавного пуску або софтстартер зважаючи на невелику потужність електродвигуна, можна обрати на величину струму 10 А та напругу 220 В. Крім того до капіталовкладень необхідно враховувати витрати на дроти, кріплення, роботу монтажників, а також пристрої моніторингу та контролю, до яких відноситься електролічильник і розподільний щиток. Такі витрати, залежно від індивідуальних особливостей домогосподарства можуть складати 15-20% від ціни сонячних панелей. Проведемо розрахунок всіх витрат, щоб визначити загальні капіталовкладення в сонячну електростанцію:

$$K_{зГ} = Ц_{СПЗ} + Ц_{АЗ} + Ц_I + Ц_{КЗ} + Ц_{ПП} + Ц_{СПЗ} \cdot 0,2, \quad (15)$$

де $Ц_{АЗ}$ – вартість акумуляторної установки;

$Ц_I$ – вартість інвертора;

$Ц_{КЗ}$ – вартість контролера заряду;

$Ц_{ПП}$ – вартість приладу плавного пуску або софтстартера;

0,2 – приблизний коефіцієнт додаткових витрат, який було взято як 20% від вартості сонячних панелей.

Висновки

Під час проектування сонячних електростанцій потрібно враховувати цілий ряд чинників, які впливають на рівень генерації, а отже і на сумарну потужність електрообладнання, яке буде жити електростанція та час і почерговість роботи цього обладнання. У статті наведено розрахунки для СЕС різної потужності, орієнтуючись за середнім рівнем використання встановленої потужності в різні пори року та в цілому за рік, за даними розрахунками можна зробити висновок, що СЕС запроєктована на основі рівня використання встановленої потужності в зимовий період буде



покривати споживання весь рік, але потребує додаткових техніко-економічних досліджень. При будівництві СЕС на півдні Вінниччини, для автономного електропостачання варто орієнтуватись на показники використання встановленої потужності за осінній період, в цьому випадку СЕС буде покривати рівень споживання електроенергії за більшу частину року, але для живлення в зимову пору року будуть необхідні додаткові джерела електропостачання.

Список літератури

1. Охоткин Г.П. Методика расчета мощности солнечных электростанций / Г.П. Охоткин // Вестник Чувашского университета. – 2013. № 3– Чебоксары – С.222-230.
2. Кожем'яко В.П. Оптимізація проектів будівництва сонячних електростанцій із врахуванням базових техніко-економічних показників / В. П. Кожем'яко, О. Г. Домбровський, В. І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – №2 (30). 2015 ВНТУ – Вінниця. – С.66-81.
3. Бацала Я.В. Аналіз показників якості електроенергії сонячної електростанції. / Я.В. Бацала, І.В. Гладь, У.М. Николін – Розвідка та розробка нафтових і газових сховищ. 2013 №4 (49). ІФНТУНГ – Івано-Франківськ – С.81-90.
4. Стаднік М.І. Аналіз ефективності генерації електроенергії на основі сонячної енергії в Вінницькій області / М.І. Стаднік, О.О. Рубаненко, С.В. Бондаренко // Техніка, енергетика, транспорт АПК.– Вінниця, 2016. – №2 (94) – С. 87-97.
5. Стаднік М.І. Визначення рівня генерації електроенергії на сонячній електростанції відносно її встановленої потужності. /М.І. Стаднік, О.О. Рубаненко, С.В. Бондаренко // Техніка, енергетика, транспорт АПК.– Вінниця, 2016. – №3 (95). – С. 213-220.
6. Общій принцип подбора солнечных батарей, аккумуляторов и контроллеров в единую систему [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://avtonom.com.ua/stati/towari_alternativnoy_energetiki/solnechnie_batarei/obschij-printsip-podbora-solnechnyh-batarej-akkumuljatorov-i-kontrollerov-v-edinuju-sistemu – Назва з екрану.
7. Сайт про альтернативні джерела енергії [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ekosystem.lviv.ua/p-solarpanel> – Назва з екрану.
8. Solarenergy [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://solar-energy.kiev.ua/ua/golovna.html> – Назва з екрану.

References

1. Okhotkin H.P. Metodyka rozrakhunku potuzhnosti sonyachnykh elektrostantsiy / H.P. Okhotkin // Visnyk chuvaskoyi universytetu. - 2013. № 3 Cheboksary - S.222-230.
2. Kozhem'yaka V.P. Optymizatsiya proektiv budivnytstva sonyachnikhelektrostantsiy Iz vrakhuvannya bazovykh tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv / V. P. Kozhem'yaka, O. H Dombrovskyy, V. I. Malinovskyy // Optyko-elektronni informatsiyno-enerhetychni tekhnolohiyi. - №2 (30). 2015 VNTU - Vinnytsya. - S.66-81.
3. batsa YA.V. Analiz pokaznykiv yakosti elektroenerhiyisonyachnoyi elektrostantsiyi. / YA V. Batsa, I.V. Hlad, U.M. Nykolyn - Rozvidka ta rozrobka Naftova y hazovykh skhovyshche. 2013 №4 (49). ifntunh - Ivano-Frankivsk - S.81-90.
4. Stadnik M.I. Analiz efektyvnosti heneratsiyi elektroenerhiyi na osnove Sonyachnoyi enerhiyi v Vinnytskiy oblasti / M.I. Stadnik, O.O. Rubanenko, S.V. Bondarenko // Tekhnika, enerhetyka, transport APK.- Vinnytsya, 2016. - №2 (94) - S. 87-97.
5. Stadnik M.I. Vyznachennya urovnya heneratsiyi elektroenerhiyi na sonyachniy elektrostantsiyi vidnosno ee vstanovlenoyi potuzhnosti. /M.I. Stadnik, O.O. Rubanenko, S.V. Bondarenko // Tekhnika, enerhetyka, transport APK.- Vinnytsya. 2016. - №3 (95). - S. 213-220.
6. Obshchij printsip podbora solnechnykh batarey, akkumulyatorov i kontrollerov v yedinuyu sistemu [Elektronnyy resurs] - Rezhim dostupa: http://avtonom.com.ua/stati/towari_alternativnoy_energetiki/solnechnie_batarei/obschij-printsip-podbora-solnechnyh-batarej-akkumuljatorov-i-kontrollerov-v-edinuju-sistemu - Nazvaniye s ekrana.
7. Sayt pro alternatyvni dzherela enerhiyi [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://www.ekosystem.lviv.ua/p-solarpanel> – Nazva z ekranu.
8. Solar energy [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://solar-energy.kiev.ua/ua/golovna.html> – Nazva z ekranu.

ВИБОР ВСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотація: рассмотрена методика выбора установленной мощности солнечной электростанции не только на основе перепадов уровня потребления электроэнергии, а и на основе перепадов уровня генерации. Учтены различие между уровнем установленной мощности солнечных панелей и фактическим уровнем генерации. Приведена методика для строительства СЭС с учетом потерь электроэнергии и действия пусковых токов. Проведен расчет уровня генерации в разное время года для СЭС с разной установленной мощностью. Приведена методика расчета капиталовложений для строительства СЭС.

Ключевые слова: солнечные панели, установленная мощность солнечных панелей, СЭС, инверторы, аккумуляторы, пусковой ток.



SELECTING OF INSTALLED POWER OF SOLAR POWER STATION AND ITS ELEMENTS

Summary: the method of choice installed power of solar power station not only through changes in power consumption, but also on the basis of changes in the level of generation. Included difference between the level of installed power in solar panels and the actual level of generation. Given the methodology for the building of SES, taking into account energy losses and performance starting currents. The calculation of generation in different seasons for SES with different installed power. Given the methodology for the counting of investment for the construction of the SES.

Keywords: solar panels, installed power of solar panels, SES, inverters, batteries, inrush current.