

ЕНЕРГЕТИКА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

SUSTAINABLE ENERGY

УДК 620.92

Г.А. Глущенко, ORCID 0000-0001-7382-1537

В.В. Залозний, ORCID 0000-0002-7031-8861

А.К. Давиденко, канд. техн. наук, ORCID 0000-0001-6539-7406

АТ «ВНДІАЕН»

«Науково-дослідний і проєктно-конструкторський інститут атомного та енергетичного насособудування»

ДОСВІД ПРАКТИЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В УМОВАХ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Останнім часом у світі суттєво посилюється інтерес до нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії. Україна має значний потенціал для розвитку альтернативної енергетики та впровадження сонячних електростанцій (СЕС) [1]. Ефективна експлуатація СЕС можлива при правильному виборі обладнання та розрахунку параметрів його встановлення. Якщо при виборі комплектуючих можна використовувати їх паспортні дані, заявлені виробником, то інформація, необхідна для визначення місця встановлення устаткування та його позиціонування в більшості випадків взагалі відсутня. Оpubліковано багато робіт, присвячених оптимізації параметрів, які впливають на генерацію електроенергії і містять універсальні рекомендації для встановлення СЕС в різних регіонах України. Але всі вони мають в своїй основі лише теоретичні розрахунки. Після вступу в силу Закону України «Про ринок електричної енергії» [2] актуальним стало питання про необхідність прогнозування роботи електрогенеруючих потужностей. Особливу увагу привертають характеристики, отримані в ході реальних умов роботи. У даній роботі наводиться інформація, отримана під час практичної експлуатації СЕС номінальною потужністю 3,0 кВт, розташованої в м. Суми, за період жовтень 2018-жовтень 2020 року.

Ключові слова: інсоляція, сонячна електростанція, фотоелектричні панелі, акумуляторні батареї, інвертор, ефективність роботи.

Вступ і постановка завдання. Відповідно до зобов'язань в частині енергоефективності, взятих Україною на міжнародному рівні (Паризька угода 2015 року) [3], а також Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [4] до 2035 року заплановано значне збільшення (до 25 % від загальної) вироблення електроенергії з альтернативних джерел. На тлі постійно зростаючих тарифів на енергоносії в Україні питання пошуку альтернативних джерел електроенергії набуває особливої актуальності.

Таблиця 1 – Середньомісячне значення сонячної інсоляції в кВт·год/м²/день

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Середня за рік
Місто													
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,63	1,04	3,55
Запоріжжя	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Маріуполь	1,25	2,04	2,93	4,11	5,57	5,72	5,83	5,18	3,82	2,35	1,26	0,99	3,42
Кривий Ріг	1,23	2,02	2,95	4,20	5,57	5,55	5,77	5,12	3,81	2,45	1,25	0,99	3,41
Дніпро	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Кропивницький	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30

© Г.А. Глущенко, В.В. Залозний, А.К. Давиденко, 2020

Продовження табл. 1

Місто	Місяць												
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Середня за рік
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,90	3,26
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,30	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	3,11
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Чернігів	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Рівне	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Івано-Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,4	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92

За інформацією Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України [5] найбільш привабливими регіонами України для використання і перетворення енергії сонця і вітру є Одеська, Херсонська та Миколаївська області. У той же час, середньорічний рівень інсоляції (кількість сонячної радіації, що поступає на 1 м² поверхні, що розташована перпендикулярно до сонячних променів за один світловий день) Сумської області становить 3,16 кВт·год/м²/день, при цьому впродовж травня-серпня його величина зростає до 5,3 кВт·год/м²/день (табл. 1) [6].

Середньорічний обсяг електроенергії, що виробляється електростанцією номінальною потужністю 3,0 кВт, може скласти 3500 кВт·год/рік. Цей показник можна порівняти з показниками більшості країн Західної Європи, де активно розвивається сонячна енергетика (рис. 1).

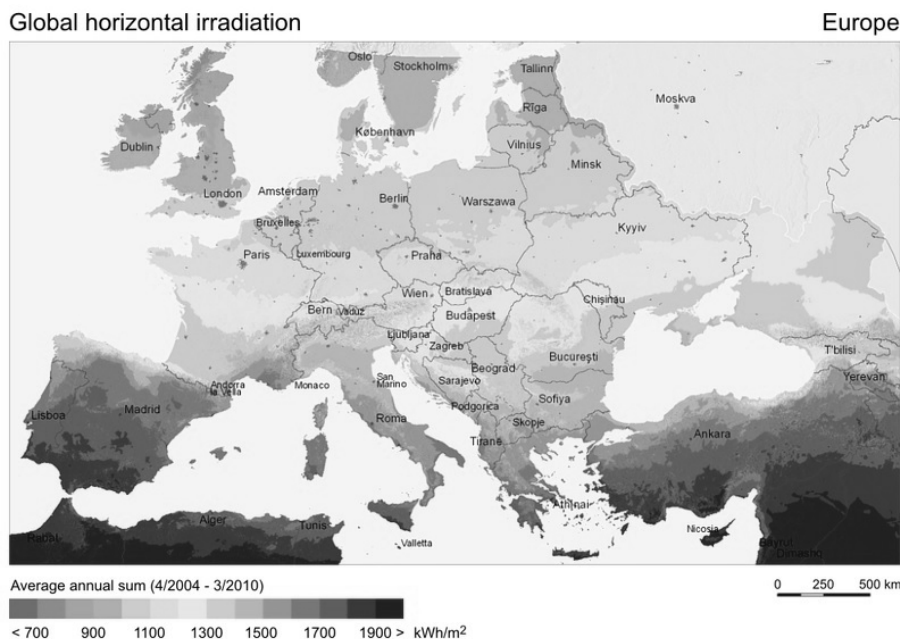


Рисунок 1 – Розподіл сонячної радіації по країнам Європи

З огляду на вищевикладене, враховуючи наявний кадровий і технічний потенціал, в 2017 році АТ «ВНДІАЕН» активно включилось в розробку і впровадження обладнання, що використовує альтернативні джерела енергії. Співробітниками інституту було проаналізовано вітчизняний та зарубіжний досвід

використання аналогічного обладнання [7, 8], а також вивчена теоретична можливість і доцільність його застосування в умовах Сумської області [9]. Як результат, власними силами була розроблена, змонтована на даху інженерного корпусу і введена в експлуатацію в 2018 році сонячна електростанція номінальною потужністю 3,0 кВт (в 2019 році її потужність збільшена до 4,0 кВт). Склад обладнання, що входить до складу СЕС АТ «ВНДІАЕН» наведено в табл. 2.

Таблиця 2 - Склад обладнання СЕС

№ з/п	Найменування	Кількість, шт.
1	Фотоелектрична панель RISEN RSM72-6-340M 5BB, 340 Вт (монокристал)	9
2	Фотоелектрична панель Altek ALM72-6-365M 5BB, 365 Вт (монокристал)	3
3	Інвертор Altek PV18-5K МПК, 4000 Вт/48 В	1
4	Акумуляторна батарея Alva battery AS12-100 GEL	4

Конфігурація обладнання підбиралась з огляду на його електричні характеристики, можливості встановлення та безпечної експлуатації. При цьому, основними завданнями були: отримати досвід експлуатації СЕС в умовах Сумської області, оцінити реальні показники генерації електричної енергії і терміни окупності устаткування СЕС. В якості споживача електроенергії, що генерується СЕС, була обрана серверна АТ «ВНДІАЕН» (розрахункова споживана потужність - 2,4 кВт), цілодобове безперебійне живлення якої повинне забезпечуватись в денний час за рахунок сонячної енергії, в нічний час за рахунок енергії, накопиченої в акумуляторних батареях (далі АКБ).

Можливість передачі електроенергії в централізовану мережу за «зеленим» тарифом не розглядалась, тому що основна умова «зеленого» тарифу - обсяг виробленої електроенергії повинен бути більше, ніж обсяг електроенергії, спожитої з мережі на власні потреби. Враховуючи потужність СЕС та обсяги споживання електричної енергії АТ «ВНДІАЕН», можливості використання «зелених тарифів» відсутні.

Виклад основного матеріалу. Згідно з дослідженням залежності генерації електроенергії фотоелектричними панелями від їх орієнтації по сторонах світу і кута нахилу [10, 11] оптимальними умовами для розміщення ФП є:

100% доступ до сонячного світла (відсутність дерев і будівель, що затіняють ФП);

орієнтація ФП точно на південь;

встановлення ФП під кутом до горизонту, рівним значенню широти місцевості; при цьому взимку до цього значення рекомендується додавати, а влітку - віднімати 10-15 градусів.

З огляду на практичні рекомендації, а також враховуючи розташування інженерного корпусу АТ «ВНДІАЕН», встановлення ФП на опорних конструкціях проводилось з орієнтацією робочої поверхні ФП на південь (рис. 2).

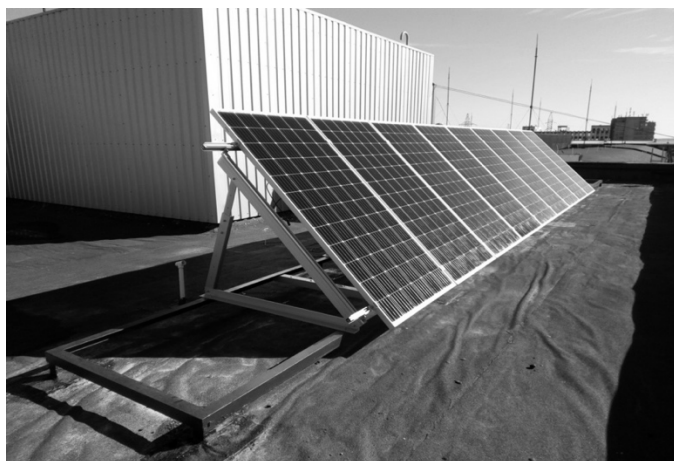


Рисунок 2 – Фотоелектричні панелі на опорних конструкціях

Для забезпечення можливості максимально ефективного використання положення Сонця протягом року в опорних конструкціях були застосовані розсувні опорні стійки власної розробки (рис. 3), що дозволяють отримати кути нахилу ФП від 35 ° до 55 ° з кроком 5 °. Виходячи з географічних координат

міста Суми (50,48° пн.ш., 34,97° с.д.), в зимовий час ФП встановлювалися з кутом нахилу в 50 °, в літню пору ФП кут нахилу був мінімальним - 35 °.

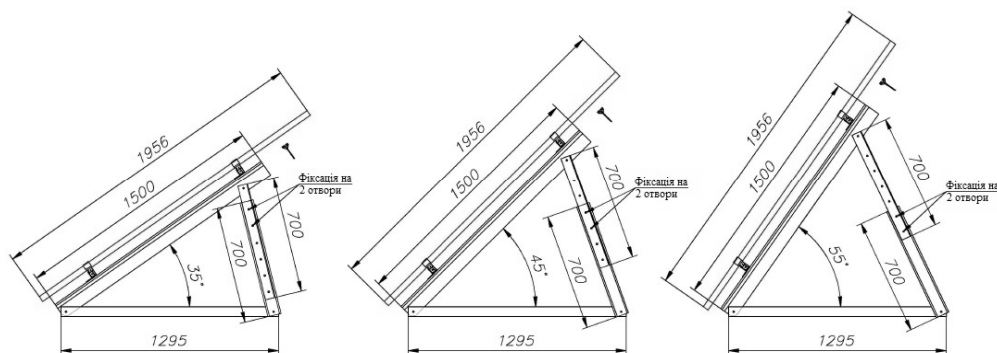


Рисунок 3 – Схема розсувних опорних стійок

З метою мінімізації втрат напруги, що виникають при передачі електроенергії [12], інвертор і АКБ були розташовані в безпосередній близькості до ФП, а саме - в спеціально обладнаному приміщенні, що знаходиться на технічному поверсі інженерного корпусу АТ «ВНДІАЕН». Безперервний збір і накопичення інформації про роботу СЕС забезпечувався відповідним програмним забезпеченням, встановленим на комп'ютер, підключений до інвертора. Періодично бази даних копіювались і конвертувались в формат електронних таблиць (xls) для подальшого аналізу і статистичної обробки.

Експлуатація СЕС розпочалась 12 жовтня 2018 року, коли після проведення налагоджувальних робіт та тестових випробувань до СЕС були підключені комп'ютерні сервери. За результатами вимірювань потужності, що споживається комп'ютерним обладнанням, яке знаходиться в серверній, з'ясувалося, що її реальна величина становить лише 0,8 кВт. При цьому максимальна сумарна споживана потужність, розрахована відповідно до паспортних даних обладнання, що бралась до уваги при виборі комплектуючих для СЕС, становила 2,4 кВт.

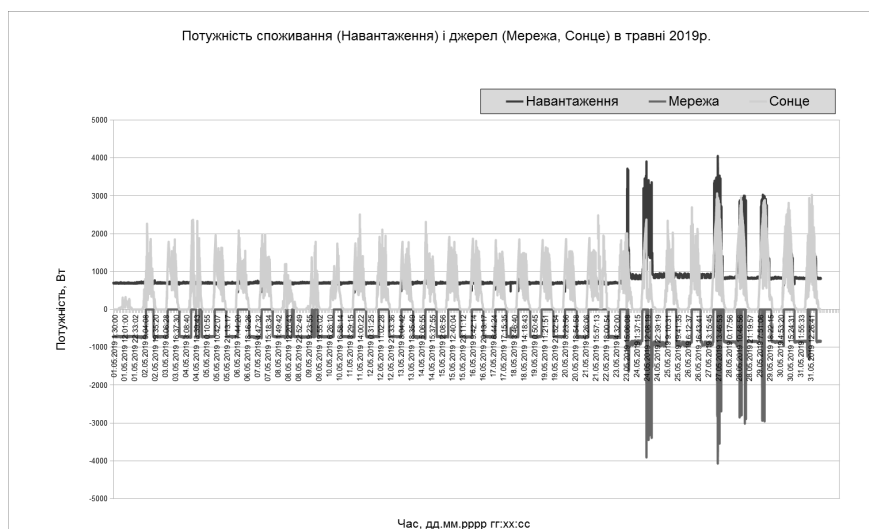


Рисунок 4 – Зростання потужності навантаження СЕС за рахунок підключення додаткових споживачів, травень 2019

Промислову експлуатацію СЕС протягом 2018-2019 рр. можна розділити на наступні етапи:

- 1) з 12.10.2018 задіяно 9 ФП сумарною номінальною потужністю 3,06 кВт, навантаження ~ 0,8 кВт (серверна), зимове положення СП (кут нахилу - 50 °);
- 2) з 18.04.2019 літнє положення СП (кут нахилу - 35 °);
- 3) з 23.05.2019 до навантаження додатково підключено 10 комп'ютерів, сумарне навантаження в денний час складає ~ 1,5 кВт (рис. 4);

- 4) з 24.06.2019 споживана потужність збільшена до 2,0 кВт (додатково підключені 8 комп'ютерів);
- 5) з 16.07.2019 додатково підключені ще 3 ФП (1,095 кВт), номінальна генерована потужність СЕС збільшилась до 4,15 кВт;
- 6) з 07.10.2019 зимове положення СП (кут нахилу - 50 °).

Проведемо аналіз ефективності роботи основних компонентів СЕС, а саме - фотоелектричних панелей, акумуляторних батарей і інвертора.

Фотоелектричні панелі.

Спочатку номінальна генеруюча потужність СЕС становила 3,06 кВт (9 панелей по 340 Вт кожна). У липні 2019 року після підключення додаткових 3-х панелей номінальна генеруюча потужність СЕС збільшилась до 4,15 кВт. У той же час, максимальне зафіксоване значення генеруючої потужності склало лише 3,44 кВт (як при використанні 9 батарей, так і при 12 батареях) (рис. 5, 6). Це пояснюється обмеженням зарядного струму (не більше 60 А), передбаченим в даній моделі інвертора. Тому, збільшення площі СП не привело до істотного зростання електричних характеристик СЕС, воно лише дозволило підвищити ефективність роботи СЕС в умовах низької освітленості.

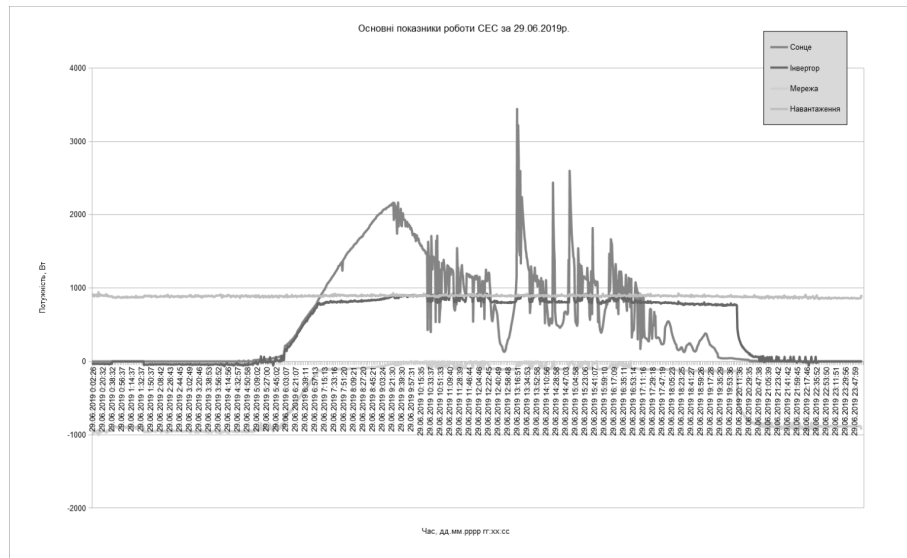


Рисунок 5 – Максимальна потужність, отримана при використанні 9-ти фотоелектричних панелей 29.06.2019 р

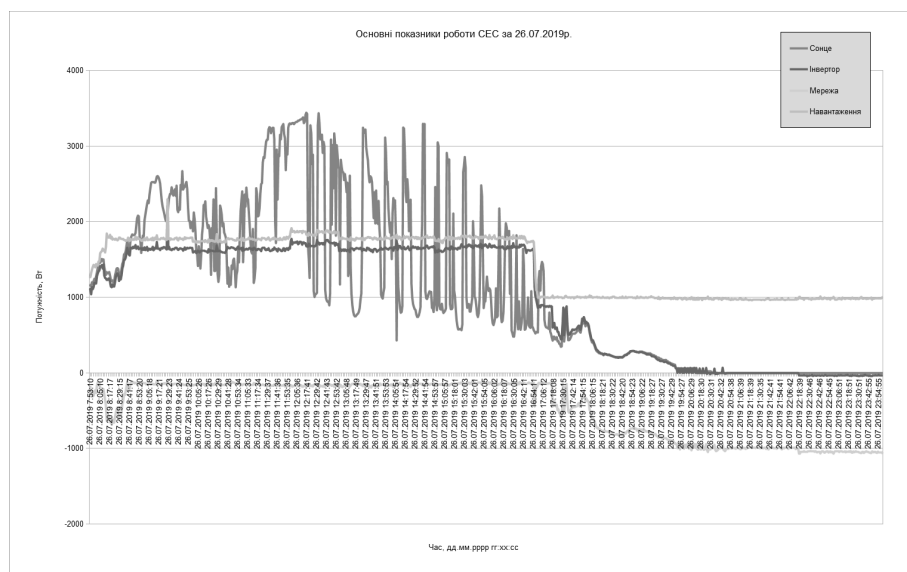


Рисунок 6 – Максимальна потужність, отримана при використанні 12-ти фотоелектричних панелей 26.07.2019 р

Під час експлуатації з'ясувалось, що на характеристики роботи СЕС істотно впливає ступінь освітленості ФП, який в свою чергу залежить від пори року і погодних умов. Сам принцип отримання енергії від Сонця передбачає нерівномірність цього процесу як протягом доби, так і протягом року. Отримана від ФП енергія змінюється від нульової (в темний час доби) до максимальної величини (в сонячний день опівдні). Відповідно, є період доби, коли сонячної енергії недостатньо для живлення споживачів і зарядки АКБ і є період доби, коли спостерігається надлишок сонячної енергії.

Істотне зниження потужності генерації енергії спостерігається в похмуру погоду, а також в умовах дощу і снігопаду. Накопичення снігу на ФП зменшує освітлювану площу і знижує генерацію електроенергії. Слід зазначити, що в сонячний зимовий день спостерігається ефект самоочищення ФП від снігу, тому що при генерації електроенергії температура робочої поверхні ФП зростає, сніг тоне і спливає з робочої поверхні ФП. Позитивну роль в цьому процесі відіграє також збільшення на зимовий період кута нахилу ФП.

Акумуляторні батареї.

Основним елементом, який дозволяє забезпечувати безперебійну подачу живлення на пристрої навантаження, є АКБ. У даній СЕС використовуються 4 гелеві акумуляторні батареї номінальною ємністю 100 А·год і напругою 12 В. Сумарний розрахунковий запас енергії становить 4,8 кВт·год. Експлуатація показала, що у вечірній час, коли сонячної енергії недостатньо, наявні АКБ дозволяють забезпечувати автономне живлення споживачів потужністю 0,8 кВт близько трьох годин, після чого проводиться автоматичне перемикання на живлення від централізованої мережі.

Досвід практичної експлуатації показує, що в умовах достатньої освітленості (літні місяці року) АКБ використовуються ефективно. Але в умовах низької освітленості (зимові місяці року) сонячної енергії недостатньо ні для живлення споживачів, ні для заряду АКБ. У цьому разі АКБ істотно знижують ефективність системи в цілому - щоб не допустити повного розряду, вони постійно заряджаються від централізованої мережі. При цьому, збільшення ємності АКБ призводить до пропорційного збільшення втрат.

Таким чином, якщо головним пріоритетом використання СЕС є забезпечення цілодобового і цілорічного автономного живлення, то треба бути готовим до того, що розрахункова потужність компонентів сонячної установки повинна значно перевищувати розрахункову потужність необхідного навантаження. При цьому слід враховувати, що сумарна потужність АКБ повинна забезпечувати живлення розрахункового навантаження протягом доби, головним чином в темний час, а потужність ФП повинна бути достатньою для забезпечення живлення розрахункового навантаження і зарядки АКБ в найтемніший період року. Такий режим експлуатації, а саме пріоритет цілодобового і цілорічного автономного живлення, передбачає високу вартість СЕС. Оскільки при подібному розрахунку СЕС повинна працювати на номінальне навантаження в найтемніший період року, весь інший час буде спостерігатись надлишок виробленої електроенергії. Найбільш доцільним в такій ситуації буде продаж надлишку електроенергії, що виробляється, в централізовану мережу із застосуванням «зеленого» тарифу.

За наявності стабільної електричної мережі, якщо питання автономності живлення не є визначальним, цілком можливий режим експлуатації, коли розрахункова потужність компонентів СЕС вибирається порівняно з номінальним розрахунковим навантаженням. У цьому випадку в літні місяці будуть спостерігатись надлишки електроенергії, що виробляється, а в зимові місяці недостатня енергія буде споживатися від централізованої мережі.

Інвертор.

Інвертор, що використовується у складі СЕС, має спеціальне програмне забезпечення для комп'ютера (далі ПЗ) (рис. 7), яке дозволяє вести оперативний контроль за станом обладнання і процесами перетворення енергії в СЕС. В процесі роботи ПЗ накопичує на комп'ютері базу даних параметрів СЕС. Конфігурація інвертора передбачає тільки кілька основних накопичувальних параметрів, значення яких зберігаються в пам'яті самого інвертора і відображають характеристики наростаючим підсумком з початку експлуатації інвертора. Контроль поточних параметрів, а також налаштування і вибір режимів роботи інвертора можна проводити безпосередньо на дисплеї інвертора.

Застосований інвертор має чотири встановлені режими роботи, які визначають алгоритми живлення споживачів і зарядки АКБ. У найменуванні кожного режиму відображені пріоритети вибору джерела для живлення споживачів. Кожен режим має свої переваги і недоліки. Жоден з них не є ідеальним для вирішення завдань ефективною експлуатації СЕС.

Режим 1 (SUB – Solar, Utility, Battery - Сонце, Мережа, АКБ).

Сонячна енергія забезпечує живлення споживачів першою за пріоритетом. Якщо сонячної енергії недостатньо для живлення споживачів, до нього одночасно підключається живлення від централізованої мережі. АКБ живить споживачів тільки при відсутності живлення від мережі. За відсутності сонячної енергії АКБ буде заряджатися від мережі, поки його напруга не досягне максимальної уставки. Якщо при наявності

енергії від ФП напруга АКБ нижче мінімальної уставки, вона заряджатиметься від мережі, поки напруга АКБ не досягне значення мінімальної уставки (для захисту АКБ від пошкодження).

Переваги: Сонце використовується першим за пріоритетом, високий ступінь готовності АКБ на випадок відключення мережі.

Недоліки: АКБ заряджається переважно від централізованої мережі та цілодобово підтримується в стані максимального заряду, але фактично не використовується в схемі живлення в умовах постійної наявності мережі.



Рисунок 7 – Вікно програмного забезпечення, що поставляється з інвертором

Режим 2 (SBU – Solar, Battery, Utility – Сонце, АКБ, Мережа).

Сонячна енергія забезпечує живлення споживачів першою за пріоритетом. Якщо сонячної енергії недостатньо для живлення споживачів, одночасно підключається живлення споживачів від АКБ. Централізована мережа забезпечує живлення споживачів тільки в тому випадку, коли напруга АКБ зменшується нижче мінімальної уставки, або якщо енергії від ФП та АКБ недостатньо.

Графік, що відображає роботу інвертора в режимі SBU, наведено на рис. 8.

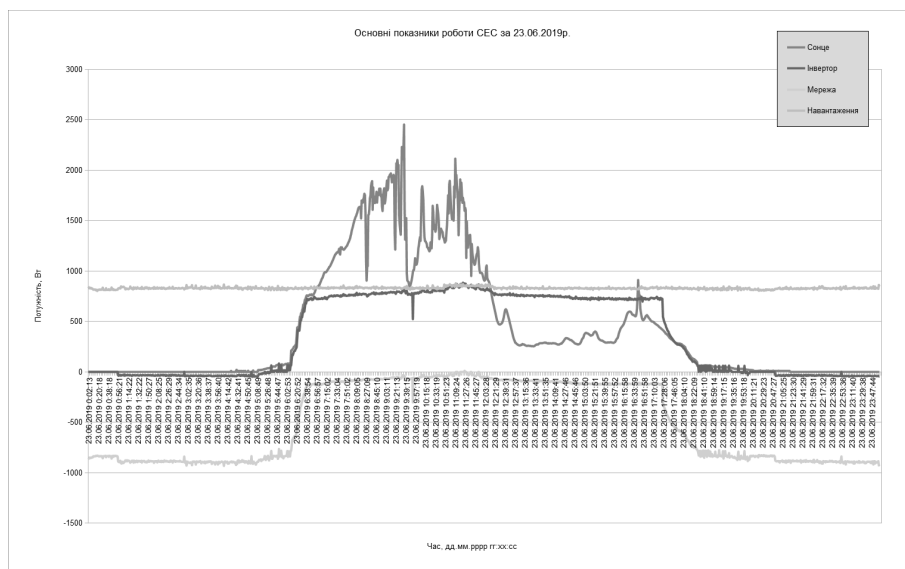


Рисунок 8 – Робота інвертора в режимі SBU

Режим 2 SBU має два підрежими, які визначають пріоритет споживання отриманої енергії:

- **BLU** – **B**attery, **L**oad, **U**tility – АКБ, Навантаження (Споживачі), Мережа);
- **LBU** – **L**oad, **B**attery, **U**tility – Навантаження (Споживачі), АКБ, Мережа).

АКБ буде подавати живлення на пристрої навантаження у разі відсутності енергії від мережі, або якщо напруга АКБ перевищує максимальну уставку (якщо вибрано підрежим BLU) або перевищує мінімальну уставку (якщо вибрано підрежим LBU). Якщо у разі наявності енергії від ФП напруга АКБ нижче мінімальної уставки, вона буде заряджатися від централізованої мережі.

Переваги: Сонце використовується першим за пріоритетом, схема живлення пристроїв навантаження (споживачів) збалансована – одночасно задіяні ФП, АКБ і централізована мережа електропостачання. АКБ заряджається від ФП і активно задіяна у схемі живлення. Режим забезпечує живлення споживачів без перемикачів. Оптимальний режим для використання в умовах змінної (сонячно / хмарно) погоди.

Недоліки: навіть в яскравий сонячний день використовується незначна частка енергії від централізованої мережі.

Режим 3 (SOL – Solar – Сонце).

У темний час доби живлення споживачів здійснюється від електричної мережі в режимі байпаса. З появою Сонця починається зарядка АКБ. Якщо напруга АКБ перевищує максимальну уставку протягом 5 хвилин, і енергія від ФП доступна протягом 5 хвилин, інвертор перемикається в режим автономного живлення споживачів. ФП і АКБ подають енергію на навантаження одночасно, при цьому в першу чергу живлення здійснюється від ФП. Коли напруга АКБ знижується до рівня мінімальної уставки, інвертор перемикається в режим байпаса, енергія на навантаження подається тільки з електричної мережі, одночасно ФП заряджає АКБ. Робота інвертора в режимі SOL показана на рис. 9.

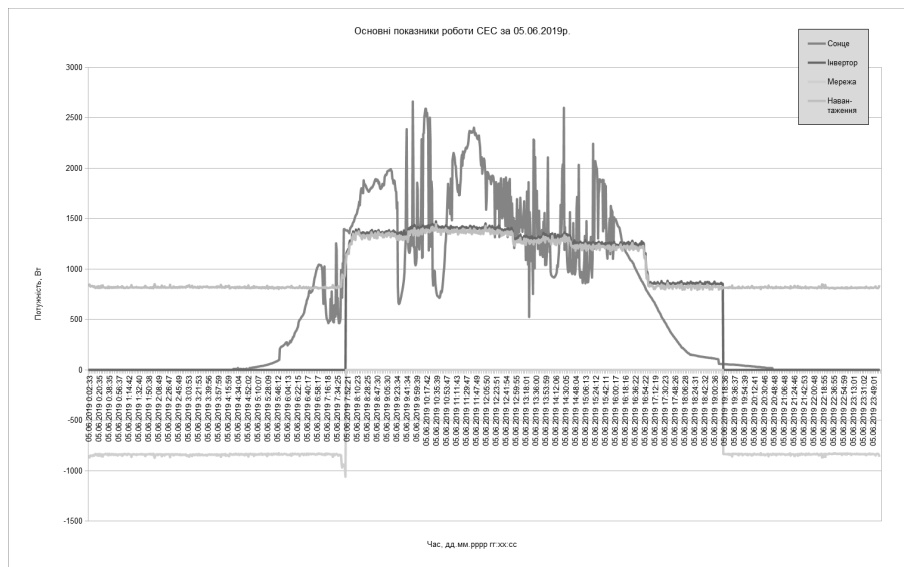


Рисунок 9 – Робота інвертора в режимі SOL

Переваги: у разі достатніх ресурсів ФП і АКБ, інвертор забезпечує автономне живлення споживачів. У світлий час доби централізована електрична мережа взагалі виключається зі схеми живлення, АКБ заряджаються від ФП і активно беруть участь в схемі живлення. Найбільш економічний режим для використання у сонячний період року.

Недоліки: при відключенні від централізованої мережі і переході на автономне електропостачання релейна схема живлення супроводжується короткочасним розривом подачі енергії на навантаження (1-2 рази на добу).

Режим 4 (UTI – Utility – Мережа).

В першу чергу енергія на навантаження подається від централізованої електричної мережі. ФП і АКБ подають енергію на навантаження тільки у разі відсутності енергії від електричної мережі.

Переваги: висока готовність системи до “зникнення” мережі і автономного живлення.

Недоліки: ФП і АКБ працюють вкрай неефективно. Використання СЕС у цьому режимі при постійній наявності мережі економічно невиправдано.

При виборі моделі інвертора для комплектації конкретної СЕС основними визначальними параметрами були його потужність і можливість роботи з мережею та акумуляторами (MPPT). Тому,

різноманітність режимів роботи інвертора і неможливість їх ручного налаштування не брались до уваги. Але, як показала експлуатація, при заявленій виробником номінальній потужності інвертора 4 кВт, фактичний її показник становить лише 3,4 кВт, додаткова потужність навантаження забезпечується від мережі.

З огляду на вищевикладене, при формуванні структури СЕС і виборі інвертора для неї слід ретельно аналізувати можливості пропонованих моделей і їх характеристики.

Навантаження.

Одним з факторів, що істотно впливають на ефективність роботи СЕС, є потужність підключеного навантаження. На початковому етапі робіт зі створення СЕС єдиними споживачами отриманої електроенергії передбачалися комп'ютерні сервери АТ «ВНДІАЕН». Але проведені заміри згенерованої (~ 3,0 кВт) і фактично споживаної серверами (~ 0,8 кВт) потужностей дозволили зробити висновок про можливість і необхідність підключення до СЕС додаткових споживачів.

Якщо АКБ досягають стану повного заряду, енергія що отримується від ФП, обмежується обсягом енергії, споживаної навантаженням, і не може суттєво перевищувати її. При цьому повний заряд АКБ в сонячні дні зазвичай відбувається до 11.00. Якщо потужність навантаження недостатня, то в найпродуктивніші години доби спостерігаються втрати, сонячна енергія залишається невикористаною (рис. 10). У той же час, при недостатньому освітленні, коли генерація електроенергії є мінімальною, для живлення пристроїв навантаження і підзарядки акумуляторів інвертор споживає енергію з централізованої мережі, перетворюючи при цьому змінний струм в постійний.

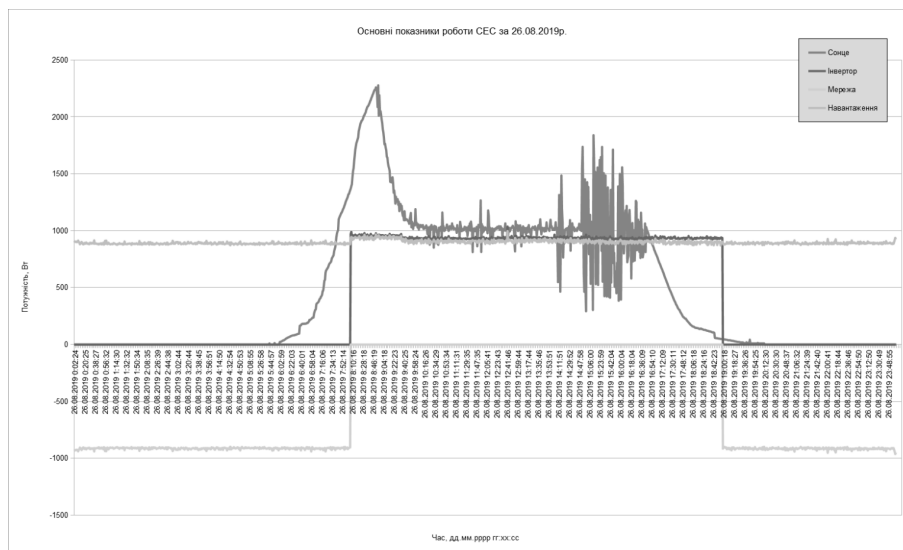


Рисунок 10 – Втрати при недостатньому навантаженні і заряджених АКБ

Тому, для отримання максимальної економічної ефективності СЕС доцільно використовувати навантаження змінної потужності з можливістю її варіювання, як протягом року, так і протягом доби. Також, одним із шляхів підвищення ефективності роботи СЕС є використання обладнання, що має можливість передачі надлишків виробленої енергії безпосередньо в централізовану мережу. Тим більше, що чинним законодавством України передбачена можливість такої передачі з використанням «зелених тарифів».

Щоб оцінити роботу СЕС за весь період експлуатації, на основі накопичувальних параметрів сформована загальна підсумкова річна діаграма вироблення і споживання електроенергії (рис. 11).

Крім того, був застосований додатковий розрахунковий параметр, який дозволив оцінити економію в розрізі кВт·год і в грн. (з урахуванням фактичних тарифів на електроенергію) і втрати на перетворення енергії. Різниця між кількістю енергії, спожитої навантаженням (споживачами), і кількістю енергії, отриманої з централізованої мережі, визначає розмір економії в кВт·год. Застосувавши до цього показника фактичні тарифи на електроенергію, отримаємо економію в грошовому еквіваленті.

Показники роботи СЕС по місяцях 2019 року представлені на рис. 12. Як видно з діаграми, найпродуктивнішим місяцем виявився липень, в якому було отримано 454,6 кВт·год, найнижчий обсяг електроенергії було вироблено в січні – 30,3 кВт·год.

Проаналізувавши наведені вище показники генерації електроенергії протягом календарного року, можна зробити висновок про практичне підтвердження інформації щодо середньомісячних (в розрізі року) рівнів інсоляції Сумської області, її циклічності, а також про періоди максимальних і мінімальних показників.

Висновки. Навіть при відносно низькому рівні інсоляції Сумської області (в порівнянні з іншими областями України), використання сонячних електростанцій в якості джерела альтернативної енергії, цілком виправдано як з технічної, так і з економічної точки зору.

Технології виготовлення обладнання для альтернативної енергетики постійно вдосконалюються, потужності сонячних панелей збільшуються, вартість комплектуючих зменшується. Це, в свою чергу, призводить до скорочення термінів окупності фінансових інвестицій в сонячну енергетику.

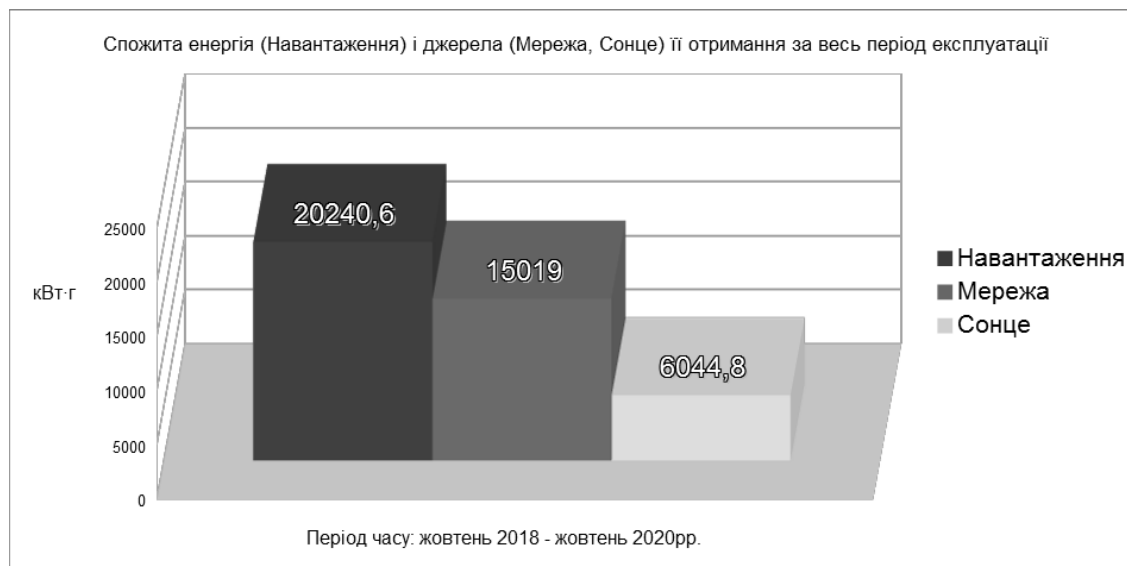


Рисунок 11 – Показники вироблення і споживання електроенергії за рік

Якщо пріоритетним завданням при створенні СЕС є швидка окупність і подальше отримання прибутку, слід обов'язково передбачати можливість продажу згенерованої електроенергії до централізованої мережі із застосуванням «зеленого» тарифу, розмір якого на сьогоднішній день складає 0,18 євро / кВт·год для приватних домогосподарств та 0,164 євро / кВт·год для юридичних осіб [13]. Також, доцільно використовувати інвертор більшої потужності, який при цьому має можливість передачі надлишків електроенергії в централізовану мережу. У цьому випадку, за умов наявності стабільної мережі, можлива повна відмова від АКБ з метою здешевлення системи.



Рисунок 12 – Показники роботи СЕС по місяцях

Крім економічної складової оцінки роботи альтернативних джерел енергії також необхідно враховувати той факт, що використання СЕС в якості джерела електроживлення дозволяє не тільки

забезпечити безперебійне живлення споживачів, але і значно поліпшити якість самої електроенергії (відсутність стрибків напруги, частоти і т.п.), що відіграє важливу роль у живленні електроприладів і особливо комп'ютерної техніки.

Список використаної літератури

1. Закон України “Про ринок електричної енергії” [Електронний ресурс] // ВВР, №27-28 - 2017. - Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2019-19>.
2. Кудря С.О. та ін. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України.-К, 2001. Інститут електродинаміки Національної академії наук України. - 41с.
3. 2030 Agenda for Sustainable Development [Електронний ресурс] // UN. - 2018 - Режим доступу до ресурсу: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>.
4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 року № 605-р. [Електронний ресурс] //Міністерство енергетики України. - 2017.- Режим доступу до ресурсу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245239564&cat_id=245239555.
5. Сайт державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України <https://sace.gov.ua/uk/ae/sunenergy>.
6. Дані сонячної інсоляції для міст України.[Електронний ресурс]//Solar-Tech. - 2019. - Режим доступу до ресурсу: <https://solar-tech.com.ua/fannye-solnechnoi-insolyacii-dlya-gorodov-ukrainy-2013-06-09.html>.
7. Дубинин Д.В., Лаевский В.Е. Энергетическая эффективность работы солнечных батарей в реальных режимах эксплуатации // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 3. – С. 58-62.
8. Саврасов Ф.В., Ковалев И.К. Исследование эффективности работы солнечной батареи в полевых условиях // Энергетика. – 2012. – Т. 321, № 4 – С. 165-168.
9. Как превратить Солнце в источник электроэнергии и заработка? Сумчанин делится опытом. [Електронний ресурс] // Life Sumy. – 2017. - Режим доступу до ресурсу: <https://life.sumy.ua/kak-prevratit-solnce-v-istochnik-elektroenergii-sumchanin-delitsya-opytom/>.
10. Гаевский А.Ю, Ушкаленко О.В. Определение оптимальных углов наклона фотоэлектрических панелей // Відновлювана енергетика. - 2016. № 1. - С.21-27.
11. Northern Alberta Institute of Technology Solar Photovoltaic Reference Array Report – March 31, 2015. [Електронний ресурс] // City of Edmonton/NAIT Reference System. - 2019. - Режим доступу до ресурсу: <https://solaralberta.ca/sites/default/files/NAIT%20Reference%20Array%20Report.pdf>.
12. Матвієнко М.П. Основы электротехники. Підручник. - К.: Видавництво Ліра-К, 2017. - 228 с.
13. Закон України “Про альтернативні джерела енергії” [Електронний ресурс] // ВВР, №24 - 2003. - Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#n143>.

H. Hlushchenko, ORCID 0000-0001-7382-1537

V. Zaloznyi, ORCID 0000-0002-7031-8861

A. Davydenko, Cand. Sc. (Eng.), ORCID 0000-0001-6539-7406

JSC Research and Design Institute for Atomic and Power Pumpbuilding

PRACTICAL EXPERIENCE OF SOLAR POWER PLANT IN THE SUMY REGION

To meet the increasing demand for energy resources, interest in alternative and renewable energy sources has increased significantly around the world. Ukraine has a high potential for the development of alternative energy, one of which is the implementation of solar power plants (SPP) [1]. It should be noted that efficient operation of the SPP is not feasible without the appropriate selection of equipment and correct calculation of its installation parameters (location, orientation, tilt angle of photovoltaic panels (PV panels), etc.), which, in turn, must take into account a number of factors and features specific to each region of Ukraine. While selecting the components we can use their certificate data, stated by the manufacturer, but the information necessary to determine the location of installation of equipment and its position in most cases is absent. Today, there are many papers concerning the optimization of parameters that affect electric energy generation and contain broad recommendations for the installation of the SPP in different regions of Ukraine. But they all have only theoretical calculations. Since the Law of Ukraine "On the Electricity Market" came into force [2], the issue of the necessity to predict the operation of electric energy generating capacities also became topical. It is impossible to obtain an accurate prediction of the

SPP electric energy generation using only the certificate data of its equipment. Therefore, special attention is paid to the characteristics obtained during the actual working conditions. This paper presents information obtained during the practical operation of the SPP with a nominal power of 3.0 kW located in Sumy, for the period from October 2018 to October 2019.

Keywords: solar irradiation, solar power plant, photovoltaic panel, rechargeable batteries, inverter, efficiency.

REFERENCES

1. Law of Ukraine “On the Electricity Market [Electronic resource]//BBP, No.27-28, 2017. - Access to recourse: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2019-19>.
2. Kudria, S.O. (2001). Atlas of Energy Potential of Renewable and Unconventional Energy Sources of Ukraine, The Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv.
3. 2030 Agenda for Sustainable Development [Electronic resource] // UN. - 2018 – Access to recourse: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>.
4. The Energy Strategy of Ukraine for the period until 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness" approved by Order No. 605-p of 18 August 2017 of the Cabinet of Ministers of Ukraine [Electronic resource] //Ministry of Energy of Ukraine.- Access to recourse: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245239564&cat_id=245239555.
5. Website of the State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine <https://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>.
6. Solar Irradiation of Cities of Ukraine [Electronic resource]//Solar-Tech. - 2019. - Access to recourse: <https://solar-tech.com.ua/fannye-solnechnoi-insolyacii-dlya-gorodov-ukrainy-2013-06-09.html>.
7. Dubinin D.V., Laevskiy V.Ye. (2015). Energy Efficiency of Solar Batteries Under Real Operating Conditions //Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Vol. 326, No. 3, pp. 58-62.
8. Savrasov F.V., Kovalev I.K. (2012). Studying the Efficiency of Solar Battery Under Field Condition // Energetics, Vol. 321, No 4, pp. 165-168.
9. How Can We Convert the Sun into a Source of Energy and Income? Sumy Resident Shares his Experience. [Electronic resource] // Life Sumy. – 2017. –Access to recourse: <https://life.sumy.ua/kak-prevratit-solnce-v-istochnik-elektroenergii-sumchanin-delitsya-opytom/>.
10. Gaevskii, A.Yu., Ushkalenko, O.V. (2016). Determination of Optimal Tilt Angles of Photovoltaic Panels. Renewable Energy, No.1, pp.21-27.
11. Northern Alberta Institute of Technology Solar Photovoltaic Reference Array Report – March 31, 2015. [Electronic resource] // City of Edmonton/NAIT Reference System. - 2019. - Access to recourse: <https://solaralberta.ca/sites/default/files/NAIT%20Reference%20Array%20Report.pdf>.
12. Matvienko, M.P. (2017). Fundamentals of Electrical Engineering. Handbook. Lira-K, Kyiv.
13. Law of Ukraine “On Alternative Energy Sources” [Electronic resource]//BBP, No.24, 2003. - Access to recourse: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#n143>.

Надійшла 22.06.2020
Received 22.06.2020