

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**5464 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ТА ЗАВДАННЯ**

до виконання розрахунково-графічної роботи
з дисципліни **«Електронні системи в геліоенергетиці»**
для студентів *171 «Електроніка»*
освітньої програми «Електронні системи»
усіх форм навчання

Суми
Сумський державний університет
2022

Методичні вказівки та завдання до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Електронні системи в геліоенергетиці» / укладачі: О. А. Доброжан, А. С. Опанасюк. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 37 с.

Кафедра електроніки й комп'ютерної техніки

Зміст

	С.
1. Загальні методичні вказівки	4
2. Список літератури	7
3. Робоча програма й методичні вказівки до розділів дисципліни	8
4. Розрахунково-графічна робота й методичні вказівки до її виконання	10
4.1. Реферативна частина РГР. Питання реферативної частини	11
4.2. Розрахункова частина РГР «Розрахунок фотоелектричної системи автономного електропостачання будинку»	15
4.2.1. Режим роботи енергосистеми	17
4.2.2. Внутрішня напруга постійного струму енергосистеми	18
4.2.3. Складові фотоелектричної енергосистеми	19
4.2.4. Вибір сонячних панелей	20
4.2.5. Вибір контролера заряду (КЗ)	21
4.2.6. Вибір інверторів	21
4.2.7. Вибір акумуляторів	21
4.3. Початкові дані та зміст завдання	23
4.4. Методичні вказівки до завдання	27
5. Довідниковий мінімум	36

1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Навчальний курс «Електронні системи в геліоенергетиці» належить до обов'язкових дисциплін освітньої програми «Електронні системи» магістрів усіх форм навчання.

Метою вивчення дисципліни є формування в студентів знань у сфері поновлювальної енергетики, геліоенергетики та методів перетворення сонячної енергії на інші види, насамперед теплову та електричну.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

– розширити свій науково-технічний кругозір у сфері енергозбереження й використання поновлювальних джерел енергії;

– здобути знання, необхідні інженерові, що займається експлуатацією пристроїв геліоенергетики.

Після засвоєння матеріалу навчальної дисципліни студент повинен:

знати:

– фізичні принципи роботи приладів і пристроїв геліоенергетики;

– параметри й характеристики різних перетворювачів сонячної енергії, необхідні для забезпечення їх штатних режимів роботи;

– можливі застосування та особливості експлуатації;

– типові схемотехнічні рішення щодо використання сонячної енергії та побудови відповідних систем;

володіти:

– інформацією про сфери застосування й перспективи розвитку приладів поновлювальної енергетики та геліоенергетики;

– методами експериментальних досліджень параметрів і характеристик сонячних елементів та інших приладів геліоенергетики;

уміти:

- забезпечувати штатні режими роботи електроустановок із перетворення сонячної енергії;
- аналізувати ефективність роботи сонячних батарей;
- експериментально знімати основні характеристики й визначати параметри напівпровідникових приладів;
- розраховувати фотоелектричні енергосистеми різного типу, що працюють у різних режимах енергозабезпечення;
- створювати на основі типових рішень та універсальних схем нові продукти.

Навчальний курс ґрунтується на раніше здобутих студентами знаннях за нормативними дисциплінами професійної підготовки, зокрема з курсів «Фізика», «Фізичні основи електроніки», «Твердотільна електроніка», «Теорія електричних кіл».

Дисципліну «Електронні системи в геліоенергетиці» вивчають магістри освітньої програми «Електронні системи» усіх форм навчання на 1 курсі (перший семестр). Робоча програма передбачає викладання лекційного курсу, а також виконання студентами лабораторних робіт у межах лабораторного практикуму. Крім того, студентам пропонують виконати розрахунково-графічну роботу (РГР), що містить теоретичні питання за темами курсу, а також розрахункову частину.

Робоча програма дисципліни передбачає вивчення студентами тенденції споживання енергії людством, класифікації традиційних та альтернативних джерел енергії, їх енергетичного потенціалу, основних видів поновлювальних джерел енергії та методів їх використання. Особлива увага приділена фотоелектричному перетворенню сонячної енергії як найбільш перспективному та гнучкому у використанні. Студенти ознайомлюються з фізичними явищами у фотоперетворювачах, тенденціями розвитку геліоенергетики. Велику увагу приділено методиці розрахунку сонячних установок для автономного електроживлення будинків.

На заняттях викладають основні питання тем робочої програми, на основі яких студент за допомогою методичних вказівок, рекомендованої літератури та лекційного курсу самостійно вивчає всі питання розділу.

У процесі вивчення розділів дисципліни рекомендовано скласти стислий конспект лекцій, беручи до уваги основні питання курсу. Виведення другорядних формул можна опустити, але обов'язково потрібно знати початкові умови їх одержання та фізичну сутність. Після вивчення кожної теми студент повинен уміти відповісти на всі питання самоконтролю. Якщо в процесі вивчення деяких тем під час відповідей на запитання самоконтролю чи під час виконання контрольних робіт виникають ускладнення, рекомендовано в усній чи письмовій формі звернутися за поясненнями та консультацією до провідного викладача, який викладає відповідний курс.

Вивчення розділів робочої програми потрібно здійснювати за допомогою рекомендованої літератури, посилання на яку наведені в методичних вказівках до кожного розділу. Проте можна використовувати й інші літературні джерела, якщо глибина та обсяг матеріалу в них відповідає вимогам навчальної програми.

2. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна навчальна література

1. Немикіна О. В. Поновлювальні та альтернативні джерела енергії : навч. посібник / О. В. Немикіна. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 188 с.
2. Форкун Я. Б. Сонячна теплоенергетика : конспект лекцій / Я. Б. Форкун, О. О. Шкурпела. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 88 с.
3. Scheer R., Werner Schock H. Chalcogenide Photovoltaics Physics, Technologies, and Thin Film Devices / R. Scheer WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. – 368 с.
4. Poortmans J. Thin film solar cells: Fabrication, characterization and application / J. Poortmans, V. Arkhipov. – Leuven, Belgium: John Wiley & Sons, Ltd. IMEC, 2006. – 471 p.

Додаткова рекомендована література

1. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії : навчальний посібник / уклад.: О. П. Голик, Р. В. Жесан, І. В. Волков та ін. – Кропивницький : Видавець Лисенко В. Ф., 2020 – . Ч. 1. – 192 с.
2. Колонтаєвський Ю. П. Фотоенергетика : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 160 с.
3. Енергозбереження та енергоефективність : конспект лекцій. – Київ : «НТУУ КПІ», 2014. – 106 с.

3. РОБОЧА ПРОГРАМА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗДІЛІВ ДИСЦИПЛІНИ

Тема 1. Особливості сучасного етапу розвитку людської цивілізації. Класифікація поновлювальних і неоновлювальних природних ресурсів

Предмет і завдання дисципліни. Зростання населення та енергетичних потреб людства. Зв'язок споживання природних ресурсів із кількістю населення Землі. Виснаження природних ресурсів. Сучасний стан енергетики та перспективи її розвитку. Екологічні проблеми пов'язані з використанням традиційних видів палива. Третя та четверта індустріальні (технологічні) революції, їх основні особливості. Технологічні уклади. Класифікація природних ресурсів. Понувлювальні джерела енергії (ПДЕ). Енергетичний потенціал ПДЕ. Їх переваги й недоліки.

Тема 2. Безвуглецева енергетика, геліоенергетика. Характеристики сонячного випромінювання на Землі та в космосі

Боротьба з викидами CO₂. Безвуглецева енергетика: воднева та алюмоенергетика. Сонце як основне джерело поновлювальної енергії. Потенціал сонячної енергії. Особливості спектра сонячного випромінювання. Основні поняття та визначення. Розрахунок приходу прямого сонячного випромінювання на довільно розташований приймальний майданчик. Атмосферна маса. Її розрахунок. Стандартний сонячний спектр. Розподілення сонячної енергії на поверхні Землі.

Тема 3. Основні напрями використання поновлювальних джерел енергії

Джерела поновлюваної енергії. Геліоенергетика. Сонячна теплоенергетика та електроенергетика. Сонячні енергетичні установки (СЕУ), їх класифікація. Вітроенергетика. Біоенергетика. Мала гідроенергетика. Енергія течій і хвиль. Геотермальна енергетика.

Тема 4. Використання геотермальної енергії, енергії біомаси, вітру та океанів

Вітроенергетичні установки. Запаси енергії вітру й можливості її використання. Відомості про вітровий кадастр. Розрахунок ідеального й реального вітряка. Конструкції вітроелектростанцій, розрахунок їх потужності. Найбільші вітрогенератори та вітропарки світу та України. Гідроенергетика: велика та мала. Найбільші ГЕС України. Енергетичні ресурси океанів. Використання енергії течій і хвиль. Приливоутворювальні сили Місяця й Сонця. Припливні електростанції (ПЕС). Різновиди ПЕС. Використання ПЕС у комплексі з ГЕС (ГАЕС). Геотермальна енергія, її типи. Використання теплової енергії доквілля. Теплові насоси (ТН), коефіцієнт використання палива. ТН на ефекті Пельтьє. Джерела низькопотенціальної теплоти. Енергетичні ресурси біомаси.

Тема 5. Основи сонячної теплоенергетики

Класифікація теплоенергетичних систем. Конструкції сонячних колекторів. Плоский колектор. Трубчастий вакуумний колектор. Схеми опалення приміщень. Баштові СЕС, СЕС тарілчастого типу.

Тема 6. Фотоелектричне перетворення сонячної енергії

Фізичні основи процесу фотоелектричного перетворення сонячної енергії. Класифікація фотоелектричних перетворювачів енергії. Сонячний елемент (СЕ) у відсутність освітлення та під освітленням. Втрати енергії у СЕ. Вольт-амперна характеристика СЕ під освітленням та в темряві.

Тема 7. Smart Grids у сучасних електроенергетичних системах на основі трекерів та новітніх контролерів

Поняття та основні концепції Smart Grids. Механізми, форми організації, етапи розроблення. Удосконалені інтерфейси та інтегровані комунікації. Впровадження АСУ ТП в електроенергетиці України.

Тема 8. Трекери для сонячних електростанцій

Загальні принципи роботи трекерних установок. Типи конструкцій сонячних трекерів. Будова трекерної установки. Переваги динамічних систем для сонячних електростанцій.

4. РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЇЇ ВИКОНАННЯ

До виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) потрібно приступати лише після вивчення теоретичного матеріалу відповідних тем робочої програми.

РГР складається з реферативної частини, що містить письмову відповідь студента на 3 запитання відповідної теми та розрахункової частини. Питання й завдання РГР поділені на варіанти. Студент повинен виконувати варіант що відповідає його номеру в списку групи.

Після виконання РГР здають викладачеві на перевірку. ***Оцінка за перевірені роботи разом з оцінками студента за лабораторний практикум є основою для допуску його до семестрового екзамену з дисципліни.***

РГР виконують в окремому зошиті. На обкладинці зошита повинні бути вказано прізвище, ім'я, по батькові студента, номер групи, варіант контрольної роботи. Текст завдання на реферативну та розрахункові частини повинні бути наведені повністю.

Робота повинна бути оформлена повно, акуратно та розбірливо, з додержанням ДСТУ та відповідно до норм, прийнятих у науково-технічній літературі. Відповідь на кожне питання реферативної частини повинна займати не менше однієї сторінки зошита. Вона повинна бути написана власними словами та являти собою не переписаний з окремого запропонованого джерела уривок тексту, а результат обмірковування матеріалу одержаного з 2–3 джерел. Водночас додатково перевагою реферативної відповіді вважають застосування довідникових даних, можливих схемотехнічних прикладів (у разі, якщо вони є доречними). Усі рівняння, формули, рисунки та графіки повинні бути пронумеровані арабськими цифрами в межах відповіді на одне питання.

У кінці роботи наводять список використаних джерел, відповідно до правил оформлення літератури. Посилання в тексті роботи повинні містити номер джерела за списком [1].

4.1. Реферативна частина РГР

Питання реферативної частини

1. Типи цивілізацій. Зростання населення Землі, прогнози й реальність. Країни та континенти з найбільшими темпами приросту населення.

2. Зв'язок темпів росту населення зі споживанням ресурсів. Неоднорідність розвитку різних країн. Екологічний слід людства.

3. Класифікація природних ресурсів. Вичерпні та поновлювальні ресурси. Їх класифікація. Виснаження природних ресурсів. Теорія Мальтуса. Передбачення Римського клубу.

4. Технологічні уклади: основні ресурси, ключові фактори, технологічне ядро. Технологічний стан України.

5. Шостий технологічний уклад, його характеристика.

6. Особливості третьої та четвертої науково-технологічних революцій. Її мета й завдання.

7. Темпи зростання енергоспоживання людства. Традиційні види палива, їх запаси у світі. Строки вичерпання. Проблеми, що виникають під час їх використання. Паризька кліматична угода.

8. Класифікація традиційних та альтернативних джерел енергії. Основні види поновлювальних джерел енергії. Тенденції споживання енергії людством.

9. Переваги й недоліки поновлювальних джерел енергії. Їх енергетичний потенціал.

10. Водень як паливо майбутнього. Водневі двигуни.

11. Алюмоенергетика. Її перспективи.

12. Потенціал сонячного випромінювання. Середня та істинна сонячна доба. Рівняння часу.

13. Сонячний спектр у космосі та на поверхні Землі. Сонячна стала. Часові зміни сонячної сталої.

14. Фактори, що впливають на прихід сонячного випромінювання на деяку поверхню. Пряме, дифузне й розсіяне випромінювання. Параметри від яких вони залежать.

15. Атмосферна маса. Розрахунок атмосферної маси. Стандартний сонячний спектр. Його визначення. Розподілення сонячної енергії поверхнею Землі та України.

16. Геліоенергетика, її особливості. Визначення й задачі. Сонячні енергетичні установки їх класифікація за різними параметрами.

17. Вітроенергетика. Принцип дії вітроустановок. Їх класифікація за потужністю. Основні конструкції вітроенергетичних установок. Їх переваги й недоліки. Опис відомих конструкцій.

18. Розрахунок потужності вітроенергетичних установок. Параметри, що впливають на потужність. Основні характеристики сучасних установок.

19. Сучасний стан і перспективи розвитку вітроенергетики. Найбільші вітропарки. Вітроенергетика України.

20. Енергетичні ресурси біомаси. Первинна та вторинна біомаса. Основні технології переробки біомаси: фізичні, хімічні й мікробіологічні.

21. Схеми використання біомаси. Пряме спалювання біомаси. Її піроліз, газифікація та ферментація.

22. Біогазові установки. Їх принцип роботи. Потенціал біогазу у світі та Україні.

23. Потенціал гідроенергетики.

24. Мала гідроенергетика, її можливості. Використання енергії течій. Енергетичні можливості ресурсу.

25. Припливні електростанції, принцип роботи. Графіки приливних коливань рівня моря. Основні схеми приливних електростанцій. Нові різновиди станцій. Хвильові електростанції, їх конструкції.

26. Геотермальна енергія. Типи геотермальної енергії. Схема геотермального теплопостачання.

27. Використання енергії довкілля. Теплові насоси, їх конструкція. Рівняння теплового балансу парокомпресійного теплового насоса. Коефіцієнти перетворення й використання палива.

28. Термоелектричні теплові насоси, їх принцип роботи.

29. Сонячна теплоенергетика. Класифікація систем сонячного теплопостачання. Будова плоского сонячного колектора.

30. Принципові схеми опалення приміщень із використанням колекторів. Сонячні соляні ставки. Вакуумні сонячні колектори.

31. Сонячні теплоелектростанції. Принципова схема отримання енергії в баштових, параболічних і тарілкових системах. Їх переваги й недоліки.

32. Класифікація сонячних елементів за різними критеріями. Організація сонячних установок. Динаміка зростання сонячної генерації. Лідери встановленої потужності сонячних батарей.

33. Фотоперетворювачі. Фізичні принципи роботи фотовольтаїчних перетворювачів сонячної енергії. Їх переваги й недоліки. Основні етапи виготовлення ФЕП на основі кремнію.

34. Конструкція сонячного елемента. Організація сонячних установок. Основні процеси у фотоперетворювачах. Канали втрати енергії в СЕ.

35. Темнові та світлові вольт-амперні характеристики СЕ. Визначення струмів короткого замикання, напруги холостого ходу, фактору заповнення ВАХ, ККД. Точка максимальної потужності.

36. Вплив ширини забороненої зони на основні характеристики СЕ. Оптимум Шоклі – Квайсера.

37. Еквівалентна схема СЕ. Вплив послідовного й шунтувального опорів на ККД.

38. Поверхнева рекомбінація. Переваги СЕ на основі гетеропереходів. Вимоги до матеріалів гетеропереходу. Типи меж зерен у напівпровідниках. Їх вплив на ефективність СЕ.

39. Вартість сонячної енергії та методи її зниження. Основні матеріали поглинального шару ФЕП.

40. Три покоління СЕ. Вимоги до приладів, їх основні характеристики.

41. Технологія виробництва тонкоплівкових ФЕП на основі різних матеріалів. Вимоги до технології.

42. Тонкоплівкові СЕ на основі поглинального шару CdTe. Їх характеристики.

43. Тонкоплівкові СЕ на основі поглинального шару CIGS. Основні проблеми та характеристики приладів.

44. Нові напрями розвитку тонкоплівкових СЕ.

45. Нові матеріали поглинаючих шарів СЕ. Характеристики СЕ на основі чотирикомпонентних сполук Cu_2ZnSnS_4 (CZTS), $Cu_2ZnSnSe_4$ (CZTSe), $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ (CZTSe). Методи одержання сполук. Залежність ККД від складу.

46. Багатоперехідні (каскадні) сонячні перетворювачі. Принципи роботи. Максимальне ККД таких ФЕП.

47. СЕ з концентраторами. Їх основні характеристики та матеріали.

48. Нові принципи створення СЕ третього покоління.

49. Основні параметри сучасних СЕ. Ринок сучасних СЕ. Недоліки й переваги ФЕП. Динаміка розвитку геліоенергетики.

50. Типи фотоелектричних систем. Їх побудова та використання.

51. Сонячні установки для власного електроживлення. «Зелений» тариф.

52. Режими автономного електропостачання. Пікова миттєва потужність, її максимальне й середнє значення для режимів.

53. Сонячної інсталяція. Її рівень у різних регіонах України. Місяці з максимальною та мінімальною інсталяцією.

54. Визначення можливостей сонця в регіоні.

55. Основне обладнання фотоелектричних систем.

56. Вибір напруги електроживлення фотоелектричної системи.

57. Інвертори, їх функції. Вибір інвертора фотоелектричної системи.

58. Вибір акумуляторів фотоелектричної системи. Розрахунок їх ємності.

59. Поняття та основні концепції Smart Grids. Механізми, форми організації, етапи розроблення.

60. Удосконалені інтерфейси та інтегровані комунікації. Впровадження АСУ ТП в електроенергетиці України.

У таблиці 1 за варіантами вказано тему й номери питань, що повинні висвітлити студенти у своїй роботі.

Таблиця 1 – Питання реферативної частини РГР

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Питання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Варіанти	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Питання	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

4.2. Розрахункова частина РГР «Розрахунок фотоелектричної системи автономного електропостачання будинку»

Теоретичні відомості

Сьогодні існує зростаючий попит на використання альтернативних джерел енергії в народному господарстві, промисловості й на побутовому рівні. Сонячна енергетика є однією з найперспективніших альтернатив традиційним способам вироблення електроенергії, таким як спалення нафти,

природного газу, мазуту, вугілля, використання атомної та гідроенергії. Перетворення сонячної енергії на електричну можливе методом використання фотоперетворювачів, принцип роботи яких базується на фотоелектричному ефекті та полягає у створенні електричного потенціалу в неоднорідному матеріалі під час поглинання фотону. Найбільш поширеними на ринку продаж є сонячні елементи на основі полі- та монокристалічного кремнію з максимальною ефективністю близькою до 26 % у разі фотоелектричної комірки, та 12–18 % для фотоелектричних модулів. Водночас вартість виробленої в такий спосіб енергії не перевищує 1 долар за Вт, що є конкурентоздатним щодо електроенергії, яку виробляють у традиційний спосіб. Це дає поштовх до створення енергосистем на основі фотоперетворювачів для енергозабезпечення об'єктів народного господарства, промислового сектора, приватних приміщень, тощо. Такі системи повинні бути спроектовані відповідно до потреб споживача. Основною метою РГР є вибір та розрахунок основних складових енергосистеми на основі фотоелектричних сонячних перетворювачів для використання в побуті. РГР передбачає, що студент проводить вибір та розрахунок енергетичної системи для енергоживлення об'єкта із заданими географічними координатами, відомою площею території розміщення сонячних панелей, значеннями річного енергоспоживання об'єкта та його режимом енергозабезпечення згідно з номером варіанта завдання.

Для створення ефективної енергосистеми необхідно організувати накопичення та зберігання перетвореної енергії для використання в періоди її дефіциту або повної відсутності. Крім того, важливим є вибір режиму використання енергосистеми, тому вона повинна бути збалансованою за рахунок правильно розрахованих і підібраних складових, таких як: первинний перетворювач (фотоелектрична панель), контролер заряду, акумулятор та інвертор (рис.1). Важливими параметрами такої енергосистеми є внутрішня низьковольтна напруга, пікова миттєва потужність (максимальне навантаження на електричну

мережу в разі одночасного підключення найбільш потужних електроприладів) та очікуване добове енергоспоживання споживачів.

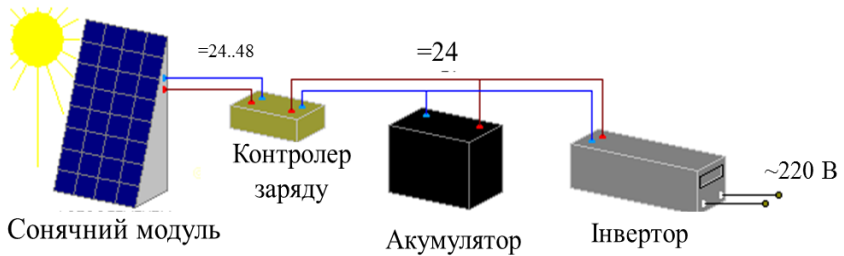


Рисунок 1 – Схематичний вигляд фотоелектричної системи автономного електрозабезпечення.

4.2.1. Режими роботи енергосистеми

Залежно від рівня енергозабезпечення приміщення розрізняють такі режими використання енергосистеми: **повний, комфортний, помірний, базовий та аварійний**. Кожен із режимів має різні вимоги до миттєвої потужності та енергозапасу системи, що впливає насамперед на вартість її встановлення.

Повне енергозабезпечення дозволяє провести заміну електроенергії, що постачається мережами, на постачання за рахунок сонячних батарей. Його досягають методом відповідного вибору потужності фотоелектричної енергосистеми, здатної покрити максимальні енергозатрати господарства й унеможливити необхідність живлення від зовнішньої електромережі. Щоб повністю відключитися від неї, але ніяк не змінювати спосіб життя родини, необхідна система, здатна за місяць виробляти не менше 600 кВт·год електроенергії за потужності в тривалому режимі не менше 5 кВт, а споживання енергії за добу може досягати 50 кВт·год за середнього значення від 10 до 20 кВт·год на добу.

У разі використання режиму **комфортного енергозабезпечення** енергосистема повинна забезпечувати живлення мало та середньопотужних приладів (< 4 кВт), у той самий час як енергозатратні прилади (електроплити, електродуховки, конвектори та електропідігрівачі великих площ) повинні житися за рахунок зовнішньої електромережі.

Помірне енергозабезпечення характеризується комфортним режимом енергозабезпечення, але з більш раціональним підходом до використання високопотужного обладнання. Так, енергозатратні роботи потрібно проводити в періоди максимального надходження сонячної енергії до фотоелектричної системи, а їх живлення здійснювати за гібридною схемою з одночасним використанням зовнішньої електромережі та попередньо накопиченої енергії в акумуляторах енергосистеми.

Базовий та аварійний режими характеризуються постійним живленням від зовнішньої електромережі з частковим застосуванням фотоелектричної енергосистеми для роботи малопотужних приладів або в аварійних ситуаціях, коли зовнішня електромережа відключена.

4.2.2. Внутрішня напруга постійного струму енергосистеми

Важливим параметром енергосистеми є внутрішня напруга постійного струму, використовувана для заряджання акумуляторів. Її вибір залежить від необхідної потужності системи та визначає робочі характеристики фотоелектричних панелей, приладів контролю й накопичення заряду (контролерів заряду та акумуляторів), низьковольтних інверторів.

Під час вибору напруги енергосистеми необхідно врахувати, що напруга на її виході повинна відповідати побутовому стандарту: ~ 220 В (50 Гц) змінного струму. Низьковольтна напруга постійного струму подається на вхід інвертора та дорівнює номінальній напрузі блоку акумуляторів і фотоелектричних панелей. Стандартні акумулятори зазвичай

розраховані на напругу 12 В, а фотоелектричні панелі виробляють 12–24 В. Більшість інверторів розраховані на вхідний постійний струм (100–200 А) та напругу 12, 24, 48, 96 В, вибір яких залежить від необхідної потужності фотоелектричної системи.

Для вибору внутрішньої напруги енергосистеми потрібно користуватися рекомендаціями репрезентованими в таблиці 2.

Таблиця 2 – Характеристики енергосистем різної напруги постійного струму

Напруга постійного струму	Типова номінальна потужність інвертора	Особливості низьковольтної частини системи
12 В	до 1,5 кВт	небезпека ураження струмом відсутня
24 В	від 1,5 кВт до 3 кВт	небезпека ураження струмом практично відсутня
48 В	від 2,5 кВт до 5 кВт	невелика небезпека ураження струмом
96 В	від 5 кВт	небезпека сильного ураження струмом

4.2.3. Складові фотоелектричної енергосистеми

Після вибору бажаного режиму використання енергосистеми та її внутрішньої напруги необхідно підібрати такі категорії приладів:

– *первинний перетворювач* (фотоелектричну панель). До основних функціональних характеристик панелей відносять: потужність, номінальну напругу та силу струму, що виробляється. Крім того, потрібно звертати увагу на фізичні параметри сонячних батарей: розміри й вагу, що впливає на вибір місця їх розташування;

– *контролер заряду*, що забезпечує нормування вихідної напруги фотоелектричних панелей, штатну зарядку

акумуляторів і передавання низьковольтного постійного струму до навантаження. Потрібно зауважити, що контролери заряду нормалізують вироблений струм до номінальної низьковольтної постійної напруги, їх характеристики визначаються особливостями первинних перетворювачів;

– *акумулятор*, основною функцією якого є накопичення та зберігання енергії виробленої фотоелектричною системою, її подання у разі необхідності до споживачів;

– *інвертор*, що служить для перетворення низьковольтного постійного струму до рівня прийнятого побутового або промислового стандарту електроспоживання (~220 В).

4.2.4. Вибір сонячних панелей

Вибір сонячних панелей проводиться методом аналізу їх фізико-технічних параметрів, які зазначає виробник. Існують різні типи фотоелектричних панелей залежно від матеріалу поглинача. На сьогоднішній день найбільш поширеними на ринку продаж є сонячні панелі на основі моно- та полікристалічного кремнію, багатокомпонентних сполук CdTe, CuInSe₂ (CIS), Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS). Ефективність таких панелей знаходиться в межах 10–26 %.

На сьогодні на ринку найчастіше пропонують фотоелементи з монокристалічного (с-Si) та полікристалічного (poly-Si) кремнію. Батареї на основі монокристалічного кремній зазвичай мають ККД в діапазоні від 20 % до 26 %, а полікристалічного – від 12 % до 21 %, проте вони дещо дешевші. Однак у готових панелей ціна вату енергії (в перерахунку на вироблену потужність) виходить майже однаковою, тому батареї з монокристалічного кремнію виявляються навіть вигіднішими. За такими параметрами, як ступінь і швидкість деградації, різниці між ними практично немає. У зв'язку з цим ***вибір на користь монокристалічного кремнію поки що очевидний***. Крім того, часто ***під час зниження освітленості монокристалічний кремній забезпечує номінальну напругу довше, ніж***

полікристалічний, а це дозволяє одержувати деяку енергію навіть у дуже похмуру погоду й навіть у сутінках.

Під час вибору сонячних батарей потрібно приділяти особливу увагу електричним характеристикам панелей (номінальній та максимальній силі струму й напрузі), габаритним розмірам, робочій температурі й терміну експлуатації (20–30 років).

4.2.5. Вибір контролера заряду (КЗ)

Під час вибору КЗ потрібно керуватися такими характеристиками: напругою, максимальними струмами на вході контролеру та струмами навантаження. Необхідно зазначити, що КЗ вибирають після визначення внутрішньої напруги енергосистеми та її потужності. У разі, коли сила струму сонячних батарей значно перевищує значення характерні для типових КЗ, потрібно створювати блоки панелей і для кожного блоку застосовувати окремий контролер. Бажаним є вибір КЗ із функцією MPPT (Maximum Power Point Tracking), що дозволяє контролювати об'єм енергії, який надходить від сонячних модулів до акумуляторів.

4.2.6. Вибір інверторів

Інвертор повинен забезпечувати необхідну вихідну потужність енергосистеми. Також потрібно звернути увагу на форму перетвореного вихідного струму. Залежно від складності моделі інвертора, вихідний струм може набувати форми трикутника, прямокутника, модифікованої синусоїди, що є показником якості виробленої електричної енергії. Важливо, щоб ефективність інвертора знаходилась у межах 90 %, що зменшує внутрішні втрати енергії в системі. Крім того, інвертор повинен функціонувати в режимі зарядки акумуляторів (у разі сильного розрядження), мати функцію контролю вхідної та вихідної напруги, бути обладнаним системою захисту від перенавантаження та короткого замикання в мережі, допускати короточасне перевищення номінального навантаження.

4.2.7. Вибір акумуляторів

На сьогодні найбільш поширеними є акумулятори з номінальною напругою 12 В і терміном експлуатації 10–15 років. Декілька акумуляторів підключених послідовно або паралельно в одне електричне коло утворюють блок, що характеризується такими параметрами, як робоча ємність, струм заряду й розряду, напруга. Важливо відзначити, що напругу акумуляторного блоку можна збільшувати за рахунок послідовного підключення окремих його одиниць, а силу струму та ємність – застосовуючи їх паралельне підключення.

З погляду техніки безпеки всі акумулятори в одному блоці повинні бути одного типу й мати однакову номінальну ємність. **У разі послідовного підключення акумуляторів ця вимога є обов'язковою.** Заміну окремих складових потрібно виконувати поблоково, так знижується рівень небезпеки спалаху вогню.

Найбільш поширеними у використанні є свинцево-кислотний та літій-іонний типи акумуляторів. Останні характеризуються більшою питомою ємністю, що зменшує їх габарити й масу, вони більш ефективно використовують номінальну ємність і вдвічі ефективніші під час роботи в буферному режимі, ніж свинцево-кислотні акумулятори. Недоліками літій-іонних акумуляторів є їх дороговизна та підвищена вогнебезпека. Крім того, вони вимагають використання специфічних контролерів заряду. У результаті для мобільних енергосистем більш раціональним вибором є літій-іонні акумулятори, а для стаціонарних – свинцево-кислотні.

Робочий енергозапас блоку акумуляторів повинен дорівнювати середньодобовому споживанню електроенергії. Здебільшого акумулятор розрахований на 250 циклів зарядки-розрядки, що зменшує термін його експлуатації в разі частих повних циклів використання. Під час вибору кількості й типу акумуляторів враховують два основні параметри: конструкцію інвертора та струм заряду (не повинен перевищувати 10 % від номінальної ємності для кислотного типу та 25–30 % для лужного).

Якщо інвертор має зарядний пристрій від зовнішньої мережі, то він повинен регулювати струм залежно від рівня заряду акумуляторів. Крім того, акумулятори повинні витримувати процеси сульфатації пластин адже в іншому разі є ймовірність їх виходу з ладу. Акумулятори повинні мати низький рівень саморозряджання, про який виробник зазначає в паспорті. Під час розрахунків потрібно орієнтуватися на 20 % глибину розряду акумуляторів. Акумулятор повинен бути герметизованим і розміщеним у добре провітрюваному приміщенні з кімнатною температурою.

4.3. Початкові дані та зміст завдання

Початкові дані для розрахункової частини РГР для різних варіантів наведені в таблиці 3. Для її виконання потрібно:

- сформувані початкову умову завдання згідно з варіантом;
- визначити необхідну щомісячну кількість електроенергії (кВт·год), яку повинна генерувати енергосистема залежно від даних енергоспоживання й режиму автономного забезпечення. Дані репрезентувати у формі таблиці 3.

Таблиця 3 – Необхідна щомісячна кількість електроенергії, яку повинна генерувати енергосистема

Номер варіанта	Режим автономного забезпечення	Щомісячне споживання електроенергії (кВт·год)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1. Вибрати тип сонячних батарей для енергосистеми та обґрунтувати цей вибір. Визначити щомісячну сонячну інсоляцію на території де розміщений об'єкт, ефективність сонячних панелей, їх кут нахилу, щомісячну кількість енергії яку виробляє одна панель та їх кількість для забезпечення необхідного рівня енергопостачання відповідно до умов завдання. Дані репрезентувати у формі таблиці 4.

Таблиця 4 – Щомісячна кількість електроенергії, що виробляє одна панель і визначена кількість панелей, необхідна кількість панелей для забезпечення об’єкта електроенергією

Номер варіанта	Тип енергосистеми	Кількість необхідної електроенергії у встановленому режимі автономного забезпечення (кВт·год)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Щомісячний рівень сонячної інсоляції, $P_{міс}$. (кВт·год/м ²)											
		Щомісячна кількість електроенергії, що виробляє одна панель (кВт·год/м ²)											
		Необхідна кількість панелей											
		Щомісячна кількість електроенергії, що виробляє необхідна кількість панелей (кВт·год/м ²)											

Побудувати помісячну залежності енергоспоживання об’єкту та енергопотужності вибраного блоку сонячних панелей. Проаналізувати можливість розташування сонячних панелей на відведеній території.

2. Визначити величину напруги постійного струму енергосистеми.

3. Виконати вибір контролеру заряду, блоку акумуляторів та інверторів. Визначити сумарну вартість енергосистеми.

Таблиця 5 – Початкові дані для розрахункової частини РГР

Номер варіанта	Географічне положення енергосистеми (населений пункт)	Площа розміщення (м ²)	Тип енергосистеми	Щомісячне енергоспоживання об'єкта (кВт·год)												Режим автономного забезпечення
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Суми	100	Трекерний	210	192	184	156	136	128	112	116	125	135	180	210	комфортний
2	Лебедин	120	Зі сталою орієнтацією	256	230	224	200	180	160	120	132	150	168	180	240	повний
3	Охтирка	80	Із сезонною зміною кута	270	250	230	210	190	170	130	140	160	170	190	220	помірний
4	Шостка	140	Зі сталою орієнтацією	270	250	230	210	190	170	130	140	160	170	190	220	комфортний
5	Глухів	90	Із сезонною зміною кута	260	244	230	210	190	170	130	140	160	170	190	220	повний
6	Білопідлля	100	Трекерний	200	195	170	160	135	125	120	135	145	150	170	230	повний
7	Харків	140	Зі сталою орієнтацією	200	195	160	155	135	125	110	145	150	160	190	230	комфортний
8	Полтава	120	Із сезонною зміною кута	250	230	220	200	180	160	120	130	150	160	180	240	помірний
9	Київ	130	Зі сталою орієнтацією	270	250	230	210	190	170	130	140	160	170	190	220	комфортний

10	Херсон	90	Трекерний	190	180	170	145	135	110	100	130	150	170	180	200	помірний
11	Одеса	100	Із сезонною зміною кута	170	160	150	145	120	90	80	100	120	130	140	160	комфортний
12	Хмельницький	130	Зі сталою орієнтацією	170	150	170	150	140	120	110	110	110	120	130	150	повний
13	Миколаїв	80	Із сезонною зміною кута	180	170	150	130	110	90	80	95	105	120	130	145	помірний
14	Львів	70	Трекерний	200	180	170	160	120	110	90	100	110	135	140	180	комфортний
15	Чернівці	150	Зі сталою орієнтацією	180	160	140	110	100	90	100	120	135	150	165	170	повний
16	Тернопіль	120	Із сезонною зміною кута	220	210	195	170	150	130	110	115	135	150	165	200	комфортний
17	Луцьк	60	Трекерний	200	190	180	170	150	130	110	90	80	110	130	170	помірний
18	Конотоп	140	Із сезонною зміною кута	140	130	105	100	90	80	65	80	100	120	130	135	помірний
19	Тростянець	120	Зі сталою орієнтацією	180	170	150	130	110	90	80	95	105	120	130	145	комфортний
20	Чернігів	100	Трекерний	200	195	180	175	150	140	120	90	85	120	150	170	повний

4.4. Методичні вказівки до завдання

Для розрахунку необхідних фізичних величин використати співвідношення наведені в конспекті лекцій та довідниковому мінімумі методички. Перед розрахунками навести коротку умову завдання й перевести величини в систему СІ. Усі розрахунки проводити лише в системі СІ.

Значення сонячної інсоляції населених пунктів України наведені в лекційному курсі.

Урахувати, що використання трекового типу встановлення фотоелектричних панелей збільшує кількість виробленої ними енергії на 50 %, енергосистеми із сезонною зміною кута – на 30 %, порівняно із системою зі сталою орієнтацією сонячних перетворювачів. Передбачається, що трековий тип розміщення дозволяє встановлювати оптимальний кут нахилу панелей та їх орієнтацію на сонце в автоматичному режимі; в енергосистемі зі сталою орієнтацією кут нахилу до горизонту встановлюють одноразово, він повинен бути більшим на 15° ніж географічна широта розташування об'єкта енергозабезпечення. Енергосистема із сезонною зміною кута передбачає, що в зимовий період панелі встановлюють під кутом 90° до горизонту, що дозволяє додатково поглинати світло, відбите від сніжного покриву, та уникнути його формування на активній поверхні батарей. Потрібно зазначити, що для збільшення кількості сонячного випромінювання, що падає на батареї, їх потрібно розміщувати в південно-східному напрямі на безтіньових поверхнях.

Урахувати, що повний режим автономного забезпечення повинен забезпечувати 100 %, комфортний – 70 %, помірний – 50 % щомісячних енергозатрат приміщення.

Приклад виконання РГР

Розрахувати фотоелектричну систему, що забезпечує комфортний режим енергозабезпечення об'єкта розташованого в м. Чернігові. Площа на якій можна розмістити сонячні батареї (звичайно дах будинку) становить 80 м^2 . Передбачене використання

енергосистеми із сезонною зміною кута нахилу фотоелектричних панелей. Дані щомісячного енергоспоживання об'єктом наведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Щомісячне енергоспоживання об'єкта

Щомісячне енергоспоживання об'єкта (кВт·год)											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
130	120	105	90	85	80	85	95	105	110	120	125

1. Визначення рівня сонячної інсоляції

Рівень сонячної інсоляції у м. Чернігові (кВт·год на день) репрезентовано в таблиці 7.

Таблиця 7 – Щоденний рівень сонячної інсоляції у м. Чернігові

Щоденний рівень сонячної інсоляції (кВт·год/м ²)											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75

2. Визначення необхідної щомісячної кількості електроенергії (кВт·год), яку повинна генерувати енергосистема

Оскільки енергосистема працює в комфортному режимі автономного забезпечення, то вона повинна забезпечувати 70 % щомісячних енергозатрат об'єкта. Відповідні дані наведені в таблиці 8.

Таблиця 8 – Щомісячне споживання електроенергії об'єктом у комфортному режимі автономного забезпечення

Номер варіанта	Режим автономного забезпечення	Щомісячне споживання електроенергії (кВт·год)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	комфортний	91	84	74	63	60	56	60	67	74	77	84	88

3. Розрахунок блока сонячних панелей

Для установлення нами була вибрана сонячна батарея основні характеристики якої наведені в таблиці 9. Вибір цієї батареї обумовлений певними міркуваннями. Панель поставляє

Таблиця 9 – Основні параметри сонячної батареї

Параметр	Значення
тип	монокристалічний
вихідна потужність (Вт)	190
номінальна напруга (В)	24
номінальна сила струму (А)	5,15
максимальна напруга (В)	45
максимальна сила струму (А)	5,55
розміри (мм)	1585x805x34
вага (кг)	16,2
робоча температура (°С)	-45 °С + 85
термін експлуатації (80 % потужності після 20 років експлуатації)	20

Примітка: параметри репрезентовані за експлуатаційної температури 25 °С, освітленні 1000 Вт/м², АМ – 1,5.

українською компанією «Kvazar», що дає можливість поставляти перевироблену енергію в зовнішню електромережу за «Зеленим тарифом», крім того монокристалічний тип сонячної батареї має вищі значення ефективності перетворення сонячної енергії порівняно з полікристалічними аналогами.

3.1. Визначення щомісячної сонячної інсоляції на території розміщення об'єкта

Відповідні дані були взяті з довідникової літературі (див., наприклад, конспект лекцій) та наведені в таблиці 10.

Таблиця 10 – Щомісячний рівень сонячної інсоляції, $P_{міс}$. (кВт·год/м²) в м. Чернігові

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30,69	50,40	90,52	118,80	160,27	155,70	158,72	140,74	90,00	57,66	29,4	23,25

3.2. Визначення ефективності сонячних панелей

Ефективність сонячної батареї в умовах АМ 1,5 розраховують за такою формулою (дані для розрахунку наведені в табл. 8):

$$\eta = \frac{P_{вих.}}{P_{вх.} \cdot S} = \frac{190 \text{ Вт}}{1000 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot 1,276 \text{ м}^2} = 14,9 \%$$

де $P_{вих}$ – вихідна потужність; $P_{вх}$ – потужність освітлення при АМ 1,5; S – площа сонячної панелі.

Оскільки передбачене використання системи із сезонною зміною кута нахилу фотоелектричних панелей, то кількість виробленої енергії буде на 30 % більшою за значення, вироблені за умови освітлення АМ 1,5 системою зі сталим кутом орієнтації. Цього досягають методом установлення панелей під оптимальним кутом до напрямку падіння сонячних променів у теплий період року. Він залежить від широти місцевості й повинен бути більшим на 15° за географічну широту розташування об'єкта енергозабезпечення. В нашому прикладі для м. Чернігова кут нахилу сонячних панелей становить $\sim 66^\circ$. У зимовий період панелі повинні бути встановлені під кутом 90° до горизонту. Щомісячна кількість енергії, яку виробляє одна сонячна панель, може бути розрахована за формулою

$$P_1 = k \cdot \eta \cdot S \cdot P_{міс.},$$

де k – відсоток збільшення виробленої енергії залежно від типу енергосистеми; η – ефективність перетворення сонячної енергії; $P_{міс.}$ – щомісячний рівень сонячної інсоляції.

Розрахунки місячної кількості енергії, яку виробляє одна панель, та їх необхідної кількості для забезпечення енергетичних потреб об'єкта за умови комфортного режиму автономного забезпечення та сезонною зміною кута нахилу сонячних батарей репрезентовано в таблиці 11.

Згідно з таблицею необхідно використати 16 панелей, щоб повністю покрити потреби в електроенергії в комфортному режимі

вибраного об'єкта енергоспоживання. Але потрібно зазначити, що зменшення кількості панелей до 7 дасть можливість забезпечувати енергією об'єкт упродовж 9 місяців за заданих умов, що вдвічі знизить повну вартість енергосистеми.

Таблиця 11 – Зведені дані кількості необхідної електроенергії, щомісячного рівня сонячної інсоляції та кількості енергії виробленої однією панеллю, їх необхідна кількість

Номер варіанта	Тип енерго-системи	Кількість необхідної електроенергії у встановленому режимі автономного забезпечення (кВт·год)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	Із сезонною зміною кута	91	84	74	63	60	56	60	67	74	77	84	88
		Щомісячний рівень сонячної інсоляції, $P_{міс}$ (кВт·год/м ²)											
		30,69	50,40	90,52	118,8	160,27	155,7	158,72	140,74	90,00	57,66	29,4	23,25
		Щомісячна кількість електроенергії, що виробляє одна панель (кВт·год)											
		7,59	12,46	22,37	29,36	39,61	38,48	39,23	34,79	22,24	14,25	7,27	5,75
		Необхідна кількість панелей											
		12	7	4	3	2	2	2	2	4	6	12	16
		Щомісячна кількість електроенергії, що виробляє необхідна кількість панелей (кВт·год/м ²)											
		53,13	87,22	156,59	205,52	277,27	269,36	274,61	243,53	155,68	99,75	50,89	40,25

Крім того, упродовж 7 місяців, енергосистема буде виробляти кількість енергії, що перевищує необхідний рівень у 3–4 рази (рис. 2). У цьому разі надлишкова електроенергія може бути продана державним установам із використанням «Зеленого тарифу», що знизить період окупності системи. Отже, вибір меншої кількості панелей є більш раціональним із погляду собівартості системи.

Для розміщення панелей виділено площу у 80 м^2 . Під час розрахунку площі необхідної для розташування однієї панелі потрібно закласти додаткові інтервали (30 см) до висоти панелей для створення простору між ними, що дозволить проводити їх очищення

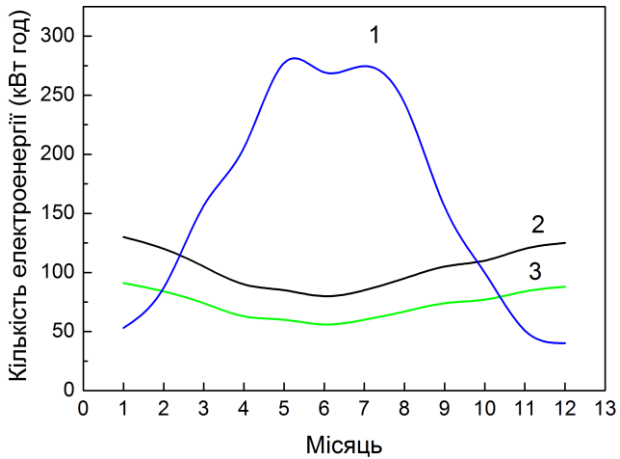


Рисунок 2 – Графік вироблення електроенергії блоком сонячних батарей, що складається з 7 панелей (1), щомісячне енергоспоживання об'єкта (2), щомісячне енергоспоживання об'єкта за комфортного режиму автономного забезпечення (3).

та за необхідності – ремонт. Необхідна площа для встановлення однієї панелі становить $1,517 \text{ м}^2$.

Отже, для розташування 7 панелей ($\sim 11 \text{ м}^2$) виділеної площі більш ніж достатньо.

4. Вибір величини напруги постійного струму енергосистеми

Для вибору величини напруги постійного струму потрібно встановити максимальну силу струму, що виробляють сонячні батареї, та максимальне значення її потужності.

Потрібно зазначити, що струм в одному блоці енергосистеми, не повинен перевищувати (100–200) А, що обумовлено робочими особливостями сучасних інверторів. У блоці сонячні панелі були підключені паралельно. Сонячна панель, параметри якої репрезентовані в таблиці 9, має силу струму в межах (5,15–5,55) А, яка у випадку використання блоку з 7 панелей збільшується до (36,05–38,85) А, що не перевищує максимального струму типових інверторів. Це дає можливість скомпонувати всі сонячні батареї в один електричний блок. Крім того, аналізуючи рисунок 2 та таблицю 11, можна зробити висновок, що максимальне значення енергії виробленої системою становить близько 277,27 кВт·год у травні середньодобове значення 8,94 кВт·год.

Користуючись рекомендаціями таблиці 2, та враховуючи, що струм блоку сонячних батарей, який розглядається, не перевищує струму, на який розрахований типовий інвертор, можна зробити висновок, що величина напруги постійного струму енергосистеми 12 В буде оптимальним вибором.

5. Вибір контролера заряду, блока акумуляторів та інверторів. Визначення сумарної вартості енергосистеми

Контролер заряду

Беручи за основу попередній аналіз, КЗ повинен мати такі характеристики: робоча напруга – 12 В, робочий струм на вході – не менше 40 А.

Для енергосистеми можна використати модель КЗ (EPsolar VS6048N (60А 12/24/36/48В)), яка має такі робочі характеристики:

- напругу – 12/24/36/48 В;
- максимальний струм на вході – 60 А;
- максимальний струм навантаження – 60 А.

Блок акумуляторів

Під час вибору акумуляторів будемо орієнтуватися на свинцево-кислотні, оскільки вони мають найкраще співвідношення ціна-ємність та є безпечними в разі стаціонарного розміщення.

Далі необхідно визначити максимальне середньодобове значення вироблення електроенергії, що спостерігається в травні й становить 8,94 кВт·год. Найбільш поширеними є акумулятори з напругою 12 В та номінальною ємністю 200 А·год (2,4 кВт·год). Як було зазначено, глибина розряду акумулятора повинна становити не більше 20 % від його номінальної ємності, в цьому разі – 0,48 кВт·год. Робоча ємність становить 0,96 кВт·год.

У цьому разі для ефективного зберігання згенерованої енергосистемою, електроенергії необхідно використати 10 акумуляторів (GPL 12-200 (12В-200А)).

Блок інверторів

Для вибору інвертора потрібно визначити місяць у якому фотоелектрична система виробляє максимальну середньодобову кількість енергії. Для прикладу, що розглядається, таким місяцем є травень, а середньодобова кількість виробленої енергії становить 8,94 кВт·год. Важливо зазначити, що якісний інвертор повинен мати синусоїдальну форму вихідного сигналу з похибкою форми не більшою ніж 3 %, і таким, щоб він не змінював амплітуду напруги під час підключення навантаження більшого 10 % від номінальних значень. Інвертор також повинен виконувати подвійне перетворення (постійного струму на змінний і навпаки), мати аналогову частину вторинного перетворення з якісним трансформатором, володіти значним запасом щодо перевантаження, набором захисних функцій від короткого замикання, неправильного підключення або несправності акумуляторів, від перевантаження.

Найбільше точно встановленим вимогам відповідає інвертор (Інвертор гібридний InfiniSolar 10 kW (10 000Вт, 48В)) із такими робочими характеристиками:

– номінальною потужністю навантаження – 10 кВт;

- напругою зовнішнього джерела – 48 В;
- максимальним струмом заряду – 200 А;
- формою вихідної напруги – чистою синусоїдою.

Сумарна вартість енергосистеми

Розрахуємо загальну вартість розробленої фотоелектричної системи. Ураховуючи, що сонячні батареї коштують 48 000 грн, контролер заряду – 11 000 грн, акумуляторний блок – 103 000 грн, а інвертор – 115 000 грн, одержимо 277 000 грн.

Для розрахунку були використані такі складові енергосистеми:

Сонячна панель –

<https://ecoist.com.ua/solnechnaja-batareja-monokristallicheskaja-kvazar-190w-24v.htm>.

Контролер заряду – <http://alteco.in.ua/products/solnechnue-batarei/kontrollery-zaryada/kontroller-zaryada-epsolar-vs6048n-60a-12-24-36-48v-detail>.

Акумулятор –

<https://alteco.in.ua/ua/produkty/akkumulyatory-products-2/akkumulyatory-gel-neobsluzhivaemye-akkumulyatory-products-2/akkumulyatorna-batareya-challenger-g12-200-12v-200ach-4-detail>.

Інвертор – <http://alteco.in.ua/products/solnechnue-batarei/inventory/gibridnye-inventory/inverter-infinisolar-10kw-detail>.

5. Довідниковий мінімум

Визначення ефективності сонячної батареї в умовах АМ 1,5 здійснюють за формулою

$$\eta = \frac{P_{\text{вих.}}}{P_{\text{вх.}} \cdot S},$$

де, η – ефективність сонячної панелі; $P_{\text{вих}}$ – вихідна потужність; $P_{\text{вх}}$ – потужність освітлення; S – площа сонячної панелі.

Щомісячну кількість енергії, що виробляє одна сонячна панель, розраховують за формулою

$$P_1 = k \cdot \eta \cdot S \cdot P_{\text{міс.}},$$

де, P_1 – щомісячна кількість енергії, що виробляє одна сонячна панель; k – відсоток збільшення виробленої енергії залежно від типу енергосистеми; $P_{\text{міс.}}$ – щомісячний рівень сонячної інсоляції. АМ 1,5 – атмосферна маса (стандартний сонячний спектр на поверхні Землі).

Електронне навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ЗАВДАННЯ
до виконання розрахунково-графічної роботи
з дисципліни **«Електронні системи в геліоенергетиці»**
для студентів спеціальності 171 *«Електроніка»*
освітньої програми «Електронні системи»
усіх форм навчання

Відповідальний за випуск А. С. Опанасюк
Редактор О. Ф. Дубровіна
Комп'ютерне верстання О. А. Доброжан

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 2,09. Обл.-вид. арк. 1,98.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет.
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.