

## ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 621.311.243

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.1>**О. В. АНДРОНОВА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-9597-8068

**В. В. КУРАК**

кандидат технічних наук, доцент,  
в.о. завідувача кафедри енергетики, електротехніки і фізики  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-4303-5671

**С. Р. СЄЛІВЕРСТОВА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання  
і засобів автоматики  
Херсонська державна морська академія  
ORCID: 0000-0003-1015-1593

## МОДЕЛЬ АВТОНОМНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНИМ КОНТРОЛЕРОМ ЗАРЯДУ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

*В роботі запропонована модель автономної фотоелектричної системи з широтно-імпульсним контролером заряду акумуляторної батареї. Для побудови моделі використано програмне середовище Matlab/Simulink. Описано основні блоки, структуру та особливості побудови моделі, а також продемонстровано її можливості.*

*Проведено моделювання поведінки автономної фотоелектричної системи при зміні основних зовнішніх факторів, таких як потік енергії сонячного випромінювання та температура фотоелектричного модуля. Проаналізовано процеси, що відбуваються в системі під впливом зміни цих факторів, з'ясовано їх вплив на параметри окремих компонентів. Показано, що при збільшенні температури модуля та зменшенні потоку сонячної радіації напруга модуля наближається до напруги акумуляторної батареї, наслідком чого є підвищення ефективності широтно-імпульсного контролера заряду, що корелює з описаними в літературних джерелах результатами.*

*Продемонстровано можливість застосування розробленої моделі для дослідження роботи реальних автономних фотоелектричних систем в заданих кліматичних умовах. Здійснено моделювання роботи переносної автономної фотоелектричної станції «Турист-80 компакт» в кліматичних умовах Херсонської області протягом типової доби липня. На основі аналізу енергетичних показників, отриманих за результатами моделювання, встановлено, що дана автономна станція за добу здатна забезпечити споживання електричної енергії в обсязі 545 Вт год за умови допустимого розрядження акумуляторної батареї на 50%, а у випадку повного відновлення заряду акумуляторної батареї на кінець світлового дня споживання має бути зменшене до 305 Вт год, що є достатнім для 3 циклів заряджання мобільних телефонів, однієї години роботи портативного світлодіодного світильника та використання переносного автомобільного холодильника протягом 5,5 годин.*

**Ключові слова:** фотоелектрична система, широтно-імпульсний контролер, моделювання, Matlab/Simulink, енергозабезпечення, ефективність.

O. V. ANDRONOVA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Energy,  
Electrical Engineering and Physics  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-9597-8068

V. V. KURAK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Acting Head of the Department of Energy,  
Electrical Engineering and Physics  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-4303-5671

S. R. SELIVERSTOVA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Operation  
of Ship Electrical Equipment and Automation Systems  
Kherson State Maritime Academy  
ORCID: 0000-0003-1015-1593

## A MODEL OF AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH A PULSE-WIDTH BATTERY CHARGE CONTROLLER

*In this paper the model of autonomous photovoltaic system with a pulse-width battery charge controller is proposed. The Matlab/Simulink environment was used to build the model. The main blocks, structure and features of the model are described, and its capabilities are demonstrated.*

*The behavior of the autonomous photovoltaic system was simulated under variation of the main external factors, such as the solar energy flux and the temperature of the photovoltaic module. The processes taking place in the system under influence of changes in these factors were analyzed, and their effect on the parameters of the main components of the system was clarified. It is shown that when the temperature of the module increases and the solar flux decreases, the voltage of the module approaches the voltage of the battery, which results to increment in efficiency of the pulse-width charge controller. This outcome correlates with the results described in some literature sources.*

*The possibility of using the developed model to study of the real autonomous photovoltaic systems in specified climatic conditions is demonstrated. The operation of the "Tourist-80 Compact" portable autonomous photovoltaic station during a typical day of July in the climatic conditions of the Kherson region was simulated. Based on the analysis of the energy data obtained from the simulation, it was shown that under the condition of allowed battery discharge up to 50% this autonomous station is able to ensure the electric energy consumption of 545 W h of 545 W h per day, but in the case of full recovery of the battery charge during a light day it is needed to reduce the consumption to 305 W h, which is sufficient for 3 mobile phone charging cycles, one hour of a portable LED lamp operation, and exploitation of a portable car refrigerator during 5.5 hours.*

**Key words:** *photovoltaic system, pulse-width controller, modeling, Matlab/Simulink, energy supply, efficiency.*

### Постановка проблеми

На сьогодні в умовах частих аварійних відключень електромережі або тривалої відсутності електрики у деяких населених пунктах внаслідок руйнування енергетичної інфраструктури вирішення проблеми енергозабезпечення споживачів є як ніколи актуальним. З урахуванням високих цін на рідке паливо, що споживається традиційними системами на основі бензинових та дизельних генераторів, та зважаючи на сприятливий сонячний енергетичний потенціал України, економічно доцільним є застосування автономних фотоелектричних систем. Ринок обладнання пропонує вже готові компонування таких систем потужністю від сотень ват до десятків кіловат. Однак, для задоволення потреб конкретного споживача розробка фотоелектричної системи потребує індивідуального підходу, який дозволяє виявити найбільш оптимальні рішення щодо компонування систем енергозабезпечення з урахуванням кліматичних параметрів місцеположення об'єкту, з одного боку, та графіків навантаження споживача – з іншого.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розробка та оптимізація автономної фотоелектричної системи можлива з використанням сучасного програмного забезпечення, яке моделює роботу системи та дозволяє визначити щогодинну або щомісячну генерацію енергії і базується на використанні стандартних схемних рішень, кліматичної бази даних та бази обладнання [1; 2].

Втім, зміна схеми компонування фотоелектричної системи, врахування особливостей графіку навантаження споживача, його впливу на кількість та ефективність використання генерованої енергії є можливими лише за умов

імітаційного моделювання систем на основі відновлюваних джерел енергії, наприклад, у програмному середовищі Matlab/Simulink. Так, застосування цього програмного середовища дозволяє здійснювати як власну розробку окремих компонент фотоелектричної системи, так і оптимізувати вже існуючі схемні рішення, і, провівши моделювання створеної системи, визначити її параметри та характеристики, відслідковуючи їх зміни в залежності від зовнішніх факторів.

В роботах [3; 4] в Matlab/Simulink розроблено моделі фотоелектричного генератора, контролера заряду на основі підвищувального перетворювача постійної напруги з керуванням затвором транзистора за допомогою алгоритму збурення та спостереження (P&O) для пошуку точки максимальної потужності (MPP) та проведено моделювання роботи автономної фотоелектричної системи при різних умовах освітленості та температури. З метою підвищення ефективності перетворення пропонується для відстеження точки максимальної потужності використовувати алгоритм штучних нейронних мереж, що дозволяє скоротити час переходу до нового значення максимальної потужності модуля при зміні освітленості та/або температури оточуючого середовища [5]. Також в [6; 7] досліджено вплив топології фотоелектричної системи на її енергетичну ефективність, а на основі моделювання різних конфігурацій автономних фотоелектричних систем визначено оптимальний варіант для певних застосувань.

Більшість авторів пропонують схеми фотоелектричних систем з використанням MPP-контролера, які дозволяють підвищувати вироблення енергії фотоелектричними модулями. Однак застосування таких контролерів підвищує вартість фотоелектричної системи і зазвичай пропонується для систем потужністю від одиниць кіловат. Для автономних фотоелектричних систем невеликої потужності, наприклад, мобільних станцій для потреб туристів та військових, найчастіше використовують контролер заряду на основі широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) [8]. Хоча ефективність такого контролера у порівнянні з MPP на 30% менша, він є дешевшим у 2÷5 рази, тому його використання виправдовує себе для малопотужних автономних фотоелектричних систем. Крім того, проводяться розробки більш ефективних ШІМ контролерів. Так, в роботі [9] запропоновано створення контролера заряду на основі реверсивного перетворювача постійної напруги та двох ШІМ-регуляторів напруги заряду та струму розряду акумуляторної батареї, що дозволяє підвищити точність керування циклуванням акумуляторної батареї і, таким чином, подовжити її термін експлуатації. Проведено розробку аналогового ШІМ контролера, що використовує алгоритм керування струмом із фіксованою частотою для зменшення електромагнітних перешкод у автономній фотоелектричній системі, показано, що такий контролер є більш економним через зменшене споживання енергії [8].

В розглянутих моделях автономних фотоелектричних систем навантаження моделюється зазвичай за допомогою блоків постійного або змінного опору, двигуна.

Загальною особливістю моделей фотоелектричних систем в програмному середовищі Matlab/Simulink є використання невеликих проміжків часу моделювання, як правило, від частки секунди до кількох десятків секунд, що є достатнім для визначення поточних значень параметрів системи та відстеження їх відгуку на зміну зовнішніх умов експлуатації. Задачі ж з моделювання роботи системи на більш тривалий час, приміром, протягом доби, як правило, не ставляться.

### Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є розробка в середовищі MATLAB/Simulink моделі малопотужної автономної фотоелектричної системи на основі ШІМ контролера заряду для симуляції роботи системи в реальних умовах експлуатації, тобто в умовах змінних кліматичних параметрів та заданого добового профілю навантаження.

### Викладення основного матеріалу дослідження

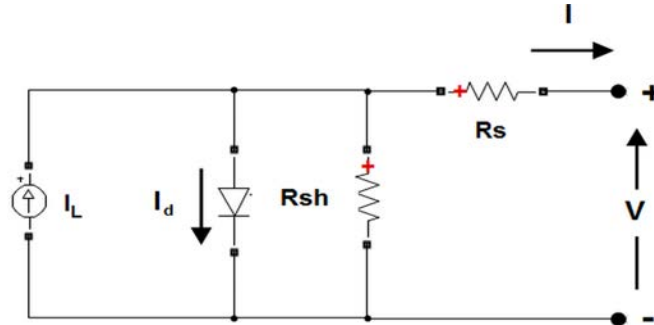
Вхідними параметрами, що впливають на роботу фотоелектричного модуля є надходження сонячної радіації на поверхню приймача та температура оточуючого середовища. Визначення погодинного надходження сумарної сонячної радіації на основі середньомісячних добових значень проводилось для ізотропної дифузної моделі випромінювання за методикою, представленою в [10] з використанням кліматичної бази даних NASA [11]. Профіль зміни температури протягом типової доби місяця визначався згідно ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [12]. Отримані часові ряди даних представлені у моделі системи блоками From Spreadsheet.

Модель фотоелектричного модуля представлена стандартним блоком PV Array, який використовує п'ятипараметричну модель фотоелектричного перетворювача (рис. 1) для визначення залежних від надходження радіації та температури вольт-амперних характеристик (ВАХ) модуля. При цьому струм  $I_d$  та напруга  $V_d$  діода пов'язані між собою наступним рівнянням:

$$I_d = I_0 \left[ \exp\left(\frac{V_d}{V_T}\right) - 1 \right],$$

$$V_T = \frac{kT}{q} n_1 N_{cell},$$
(1)

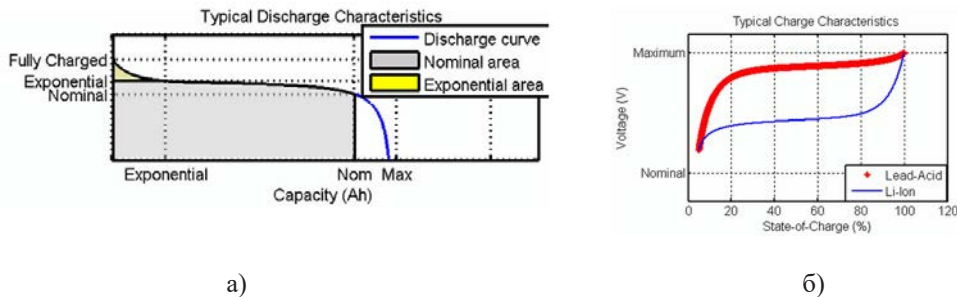
де  $I_0$  – струм насичення діода;  
 $n_f$  – коефіцієнт ідеальності діода;  
 $k$  – константа Больцмана;  
 $q$  – елементарний заряд;  
 $N_{cell}$  – кількість послідовно з’єднаних фотоелектричних перетворювачів у складі модуля.



**Рис. 1. Модель фотоелектричного модуля:**  
 $I_L$  – фотострум;  $I_d$  – струм діода;  $R_{sh}$  – шунтуючий опір;  $R_s$  – послідовний опір

Для моделювання роботи фотоелектричного модуля програма обчислює параметри його ВАХ на основі введених користувачем вхідних даних, що відповідають стандартним умовам випробувань (STC). В якості вхідних використовуються наступні параметри модуля: максимальна електрична потужність, струм короткого замикання, напруга холостого ходу, напруга та струм в точці максимальної потужності, температурні коефіцієнти напруги та струму.

Еквівалентна схема акумуляторної батареї реалізується в блоці Battery. Представлення конкретного типу акумуляторної батареї здійснюється на основі її розрядних характеристик, які поділяються на три основні ділянки (рис. 2, а). Перша ділянка характеризується експоненціальним падінням напруги зарядженої акумуляторної батареї. Друга характеризує ємність батареї при розряді до номінальної напруги. Третя ділянка описує повний розряд зі стрімким зменшенням напруги. Параметри моделі, визначені з розрядних характеристик, використовуються для розрахунку характеристик заряду акумуляторної батареї (рис. 2, б).



**Рис. 2. Розрядна (а) та зарядна (б) характеристики акумуляторів**

Контролер заряду на основі ШІМ використовується в тих випадках, коли напруга акумуляторної батареї є близькою до напруги фотоелектричного модуля. Схема контролера заряду використовує польовий транзистор Mosfet і діоди з бібліотеки SimElectronics. Затвор Mosfet управляється функціональним блоком Matlab, де записаний алгоритм керування шпаруватістю імпульсів (рис. 3). Значення робочого циклу D ШІМ-сигналу, що подається на затвор, змінюються відповідно до напруги модуля  $V$  та напруги батареї  $V_b$ , і забезпечує триступеневе заряджання свинцевої акумуляторної батареї. Блок PWM Generator використовується для генерації імпульсів відповідно до поточного значення робочого циклу, отриманого з функціонального блоку. Діоди підключені для запобігання протіканню зворотного струму від акумуляторної батареї до фотоелектричного модуля (рис. 4).

```
function D = pwm(V, Vb)
    if ((V>Vb) && (Vb<=10.8))
        D=0.8;
    elseif ((V>Vb) && (Vb>10.8) && (Vb<=12))
        D=0.2;
    elseif ((V>Vb) && (Vb>12) && (Vb<=15))
        D=0.1;
    else
        D=0.1;
    end
end
```

Рис. 3. Код у функціональному блоці Matlab

Навантаження представлено блоком керованого ідеального джерела струму Controlled current source, сигнал на який подається з блоку From Spreadsheet. Керуючий сигнал, що являє собою струм навантаження у амперах, визначається з добового графіку споживання шляхом ділення поточної потужності навантаження на напругу акумуляторної батареї та, при наявності навантаження змінного струму, на кд інвертора.

Розроблена модель автономної фотоелектричної системи представлена на рис. 4. Для складання енергетичного балансу в фотоелектричній системі в модель впроваджено калькулятори, що здійснюють облік енергії, генерованої фотоелектричними модулями, споживаної навантаженням та накопиченої в акумуляторній батареї. Роботу цих калькуляторів організовано на основі блоків Discrete-Time Integrator. Для визначення енергії сонячного випромінювання, що надходить до системи, використано блок-множник, що містить дані щодо площі фотоелектричного модуля.

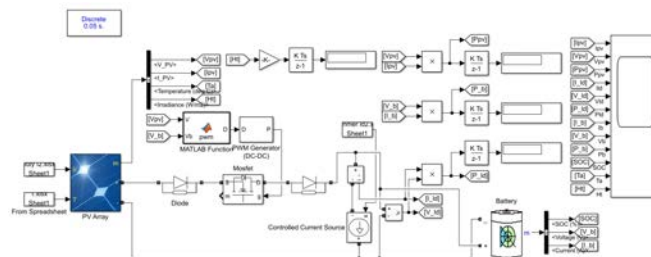


Рис. 4. Модель автономної фотоелектричної системи в програмному середовищі Matlab/Simulink

Апробація розробленої моделі проводилась на прикладі переносної автономної фотоелектричної системи «Турист-80 компакт», що складається з монокристалічного модуля Axioma energy AX – 80M, інвертора напруги 12/220В 1200Вт з модифікованою синусоїдою, акумулятора Merlion AGM GP12400M6 напругою 12В ємністю 40А год, ШІМ контролера 10А 12/24В з вбудованим USB-виходом для заряджання мобільних пристроїв. Результати моделювання роботи цієї фотоелектричної системи в умовах STC для випадку початкового ступеня зарядженості акумуляторної батареї 50% та відсутності споживання електричної енергії навантаженням представлено на рис. 5.

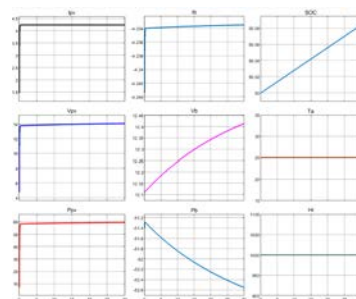


Рис. 5. Зміна в часі параметрів системи при постійному опроміненні та температурі при відсутності споживання енергії навантаженням (по осі абсцис відкладено час, с):  
 $I_{PV}, V_{PV}, P_{PV}$  – струм, напруга та потужність фотоелектричного модуля;  $I_b, V_b, P_b, SOC$  – струм, напруга, потужність та ступінь зарядженості акумуляторної батареї;  $T_a$  – температура;  
 $H_t$  – надходження сонячної радіації

Як видно з аналізу графіків, представлених на рис. 5, заряджання акумуляторної батареї супроводжується збільшенням напруги як на самій батареї, так і на фотоелектричному модулі. Наявність взаємозв'язку між цими напругами призводить до того, що робоча точка на характеристиці потужності модуля з часом зміщується і не співпадає з його точкою максимальної потужності (для модуля Аxioma energy AX – 80М ця точка відповідає напрузі 20 В та струму 4,01 А), наслідком чого є втрати генерованої потужності, які становлять близько 20 Вт. Ефективність контролера заряду, визначена як відношення потужності на акумуляторній батареї до потужності, розвиненої фотоелектричним модулем, в такому режимі становить 87,6%.

Моделювання для більш тривалого часу показало, що при заряджанні акумуляторної батареї протягом 1 год різниця напруг між батареєю і модулем зменшується з 1,7 В до 1,5 В, а ефективність ШІМ-контролера при цьому зростає до 89,2%. Отже, зменшення різниці напруг між акумуляторною батареєю і модулем призводить до збільшення ефективності ШІМ-контролера.

Для визначення впливу температури на параметри автономної фотоелектричної системи проведено моделювання її роботи при постійному опроміненні 1000 Вт/м<sup>2</sup> та зміні температури від 0 до 40°C (рис. 6).

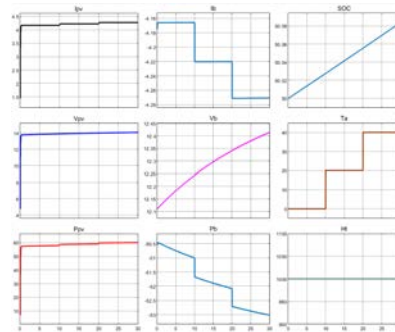


Рис. 6. Параметри системи при постійному опроміненні та змінній температурі

Зростання температури призводить до збільшення генерованої потужності модуля, що пов'язано з наближенням напруги на модулі (14,08 В) до точки максимальної потужності (18,55 В), яка зі збільшенням температури також зміщується в область нижчих напруг. Збільшенню електричної потужності модуля сприяє і зростання генерованого ним струму (рис. 7).

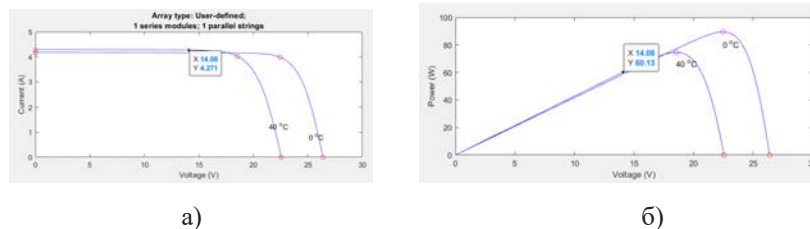


Рис. 7. Вольт-амперна характеристика (а) та характеристика потужності (б) модуля при температурах 0°C та 40°C

Ефективність ШІМ-контролера заряду в температурному діапазоні від 0С до 40°C збільшується від 87,1% до 88,3%. Тобто, зі збільшенням температури модуля ефективність контролера заряду на основі ШІМ підвищується, що корелює з результатами досліджень [13].

Проведено моделювання параметрів системи для умов зміни густини потоку сонячного випромінювання від 1000 Вт/м<sup>2</sup> до 400 Вт/м<sup>2</sup> при постійній температурі модуля 25°C (рис. 8), а також моделювання ВАХ та характеристик потужності фотоелектричного модуля (рис. 9).

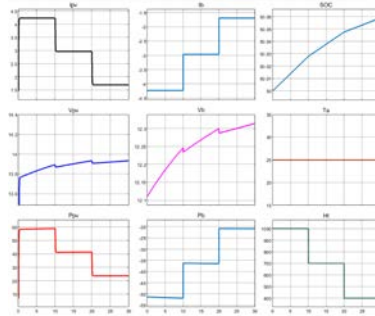


Рис. 8. Параметри системи при змінному опроміненні та постійній температурі

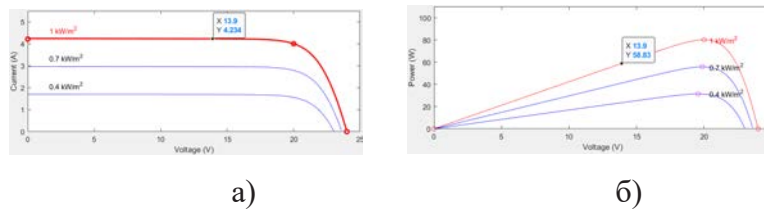


Рис. 9. Вольт-амперні характеристики (а) та характеристики потужності (б) в різних умовах опромінення

Зменшення густини потоку сонячної радіації призводить до зниження потужності модуля та незначного підвищення ефективності контролера заряду від 88,15% до 88,3%, що пояснюється наближенням напруги на модулі до точки максимальної потужності.

Отже, контролери заряду на основі ШІМ демонструють більшу ефективність при наближенні поточної напруги модуля до точки максимальної потужності, що може відбуватися внаслідок збільшення температури модуля або зменшення густини потоку сонячного випромінювання, а також при наближенні номінальної напруги модуля до номінальної напруги акумуляторної батареї.

З метою дослідження поведінки моделі при зміні зовнішніх факторів, що відповідають реальним умовам експлуатації автономної фотоелектричної системи, проведено моделювання роботи цієї системи для типової доби липня. В якості вхідних даних приймалися кліматичні показники, що відповідають Херсонській області. Добовий графік навантаження системи формувався споживачами постійного струму: два зарядні пристрої потужністю 10 Вт (4 год), один – потужністю 20 Вт (1 год), автохолодильник 45 Вт (8 год) та LED-світільних споживаною потужністю 4 Вт (1 год). Розподіл потоків енергії в автономній фотоелектричній системі протягом типової доби липня представлено на рис. 10. Потік згенерованої фотоелектричним модулем енергії перерозподіляється між навантаженням та акумуляторною батареєю, яка може або заряджатися (АКБ, негативні значення), якщо споживання є меншим за кількість виробленої модулем енергії, або віддавати запасену енергію до навантаження (АКБ, позитивні значення) у разі нестачі чи відсутності надходження сонячного випромінювання.

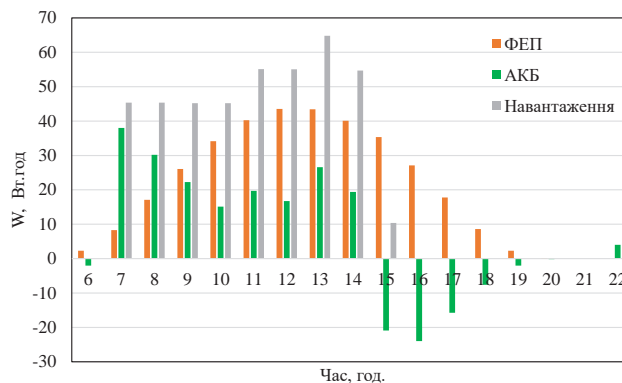


Рис. 10. Споживання, генерація та акумулювання енергії

За добу фотоелектричними модулями генерується 346,5 Вт год енергії, а витрачається на енергозабезпечення споживачів 425,1 Вт год, причому з акумулятора споживається 119,5 Вт год енергії. Добові енергетичні втрати в акумуляторній батареї та контролері заряду становлять 40,9 Вт год або 12% від згенерованої енергії.

Середньодобове значення ефективності фотоелектричного модуля для типової доби липня становить 13%, а ефективність перетворення сонячної енергії системою в цілому складає 11,5%, що узгоджується з даними з експлуатації фотоелектричних систем.

На основі отриманих даних визначено максимальне добове навантаження для автономної фотоелектричної системи «Турист-80 компакт». Так, за умови допустимого розрядження акумуляторної батареї на 50% система здатна забезпечити 545 Вт год енергії для живлення навантаження, що дозволяє здійснити близько 3 заряджання мобільних телефонів, годину роботи світлодіодної лампи та 10 годин роботи автомобільного холодильника. Втім, у випадку відновлення заряду акумуляторної батареї на кінець світлового дня споживання має бути зменшене до 305 Вт год, що забезпечується скороченням часу роботи холодильника до 5,5 год./добу.

Отже, запропонована модель автономної фотоелектричної системи коректно враховує мінливість зовнішніх умов експлуатації, зміну навантаження та дозволяє визначати режимні параметри компонентів системи в будь-який момент часу. Модель забезпечує можливість проведення аналізу ефективності процесів перетворення енергії в системі на різних стадіях, що значно спрощує процес оптимізації параметрів окремих елементів фотоелектричної системи та режимів використання виробленої енергії в наперед заданих умовах експлуатації.

#### Висновки

В Matlab/Simulink розроблено модель автономної фотоелектричної системи з ШІМ-контролером заряду акумуляторної батареї. Модель дозволяє визначати електричні та енергетичні характеристики системи при змінних умовах експлуатації, як то температура оточуючого середовища, надходження сонячної радіації та навантаження.

Проведено моделювання впливу температури та потоку сонячного випромінювання на параметри автономної фотоелектричної системи. Показано, що ефективність контролеру заряду на основі ШІМ підвищується при збільшенні температури модуля, зменшенні потоку сонячної радіації та при наближенні напруги модуля до напруги акумуляторної батареї.

Промодельовано роботу переносної автономної фотоелектричної системи «Турист-80 компакт» в кліматичних умовах Херсонської області протягом типової доби липня при наперед заданому графіку навантаження. Визначено, що в середньому за добу ефективність перетворення сонячної енергії системою становить 11,5% при середньодобовому значенні ефективності фотоелектричного модуля 13%. Показано, що запропонована модель дозволяє оптимізувати компонування системи та режими використання виробленої енергії.

#### Список використаної літератури

1. NREL. System Advisor Model (SAM) [Electronic resource]. Access mode: <https://sam.nrel.gov/> (last access: 15.01.24). Title from the screen.
2. Government of Canada. RETScreen [Electronic resource]. Access mode: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-etscreen/7465> (last access: 16.01.24). Title from the screen.
3. Mohamed Louzazni, El Hassan Aroudam, Hanane Yatimi Modeling and Simulation of A Solar Power Source for a Clean Energy without Pollution. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. Vol. 3. No. 4. 2013. P. 568–576. DOI: 10.11591/ijece.v3i5.3639
4. Bennacer El Hassouni, Ali Haddi, Abdellatif Ghacham Amrani Modeling and simulation of an autonomous PV Generator dedicated to supply an agricultural pumping station. *Energy Procedia*. Vol. 139. 2017. P. 153–160. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.11.189
5. Fousseyni Toure A., Tchhoffa D., El Mhamedi A., Diourte B., Lamolle M. Modeling and Control Maximum Power Point Tracking of an Autonomous Photovoltaic System Using Artificial Intelligence. *Energy and Power Engineering*. Vol. 13. No. 12. 2021. P. 428–447. DOI: 10.4236/epe.2021.1312030
6. Mouhoub Birane, Abdelghani Chahmi Comparative Study And Simulation Analysis For Two Models Of Autonomous Application For Photovoltaic System. *1st International Symposium on Materials, Energy and Environment*. Jan. 20–21st. 2020. El Oued. Algeria.
7. Nicola A., Vitan C., Aron C., Matei D., Grecea I. Study of Photovoltaic Systems Using Modelling and Simulation. *MATEC Web of Conferences*. Vol. 342. 2021. 03007 (11). DOI: 10.1051/mateconf/202134203007
8. Mohammad Shariful Islam, Hasmairi Mohamad, Mohammad Noor S.Z. Development of a New Controller for Solar Home System: PWM Charge Controller & DC to DC Converter (12V to 120V). *Journal of Electrical and Electronic Systems Research*. Vol. 20. 2022. P. 41–50. DOI: 10.24191/jeesr.v20i1.006
9. Ben Si Ali N., Ghoudelbourk S., Zerzour N. Battery Storage System Design Using PWM Current and Voltage Controllers. *European Journal of Electrical Engineering*. Vol. 24. No. 4. 2022. P. 195–200. DOI: 10.18280/ejee.240404
10. Duffie J.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013. 910 p.
11. Power data access viewer [Electronic resource]. Access mode: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (last access: 25.11.2023). Title from the screen.
12. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні: ДСТУ Б А.2.2-12:2015. К.: Мінрегіон України, 2015. 136 с.



13. Ashita Victor, Dharmendra Kumar Mahato, Amit Pundir, Geetika Jain Saxena Simulation, Design and Analysis of Different Types of Solar Based Charge Controllers on MATLAB/Simulink. *International Journal of Engineering Research and Technology*. Vol. 14. No. 2. 2021. P. 180–197.

#### References

1. NREL. System Advisor Model (SAM). Available at: <https://sam.nrel.gov/> (accessed 15.01.24).
2. Government of Canada. RETScreen. Available at: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465> (accessed 16.01.24).
3. Mohamed Louzazni, El Hassan Aroudani, Hanane Yatimi (2013) Modeling and Simulation of A Solar Power Source for a Clean Energy without Pollution. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 3, No. 4, 2013, pp. 568–576. DOI: 10.11591/ijece.v3i5.3639
4. Bennacer El Hassouni, Ali Haddi, Abdellatif Ghacham Amrani (2017) Modeling and simulation of an autonomous PV Generator dedicated to supply an agricultural pumping station. *Energy Procedia*, Vol. 139, 2017, pp. 153–160. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.11.189
5. Fousseyni Toure A., Tchhoffa D., El Mhamedi A., Diourte B., Lamolle M. (2021) Modeling and Control Maximum Power Point Tracking of an Autonomous Photovoltaic System Using Artificial Intelligence. *Energy and Power Engineering*, Vol. 13, No. 12, 2021, pp. 428–447. DOI: 10.4236/epe.2021.1312030
6. Mouhoub Birane, Abdelghani Chahmi (2020) Comparative Study And Simulation Analysis For Two Models Of Autonomous Application For Photovoltaic System. *1st International Symposium on Materials, Energy and Environment*, Jan. 20–21st; 2020, El Oued, Algeria.
7. Nicola A., Vitan C., Aron C., Matei D., Grecea I. (2021) Study of Photovoltaic Systems Using Modelling and Simulation. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 342, 2021, 03007 (11). DOI: 10.1051/mateconf/202134203007
8. Mohammad Shariful Islam, Hasmainsi Mohamad, Mohammad Noor S.Z. (2022) Development of a New Controller for Solar Home System: PWM Charge Controller & DC to DC Converter (12V to 120V). *Journal of Electrical and Electronic Systems Research*, Vol. 20, 2022, pp. 41–50. DOI: 10.24191/jeesr.v20i1.006
9. Ben Si Ali N., Ghoudelbourk S., Zerzour N. (2022) Battery Storage System Design Using PWM Current and Voltage Controllers. *European Journal of Electrical Engineering*, Vol. 24, No. 4, 2022, pp. 195–200. DOI: 10.18280/ejee.240404
10. Duffie J.A. (2013) *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013. 910 p.
11. Power data access viewer. Available at: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed 25.11.2023).
12. Enerhetychna efektyvnist' budivel'. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannya pry opalenni, okholodzhenni, ventylyatsiyi, osviltleni ta haryachomu vodopostachanni [Energy efficiency of buildings. The method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]: DSTU B A.2.2-12:2015. K.: Minrehion Ukrayiny, 2015. 136 p.
13. Ashita Victor, Dharmendra Kumar Mahato, Amit Pundir, Geetika Jain Saxena (2021) Simulation, Design and Analysis of Different Types of Solar Based Charge Controllers on MATLAB/Simulink. *International Journal of Engineering Research and Technology*, Vol. 14, No. 2, 2021, pp. 180–197.