

УДК 629.341

АНАЛІЗ СХЕМ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛЯХ ДЛЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

А.В. Гнатов, проф., д.т.н., Щ.В. Аргун, доц., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Проведено аналіз існуючих схем будови сонячних електростанцій на фотоелектричних модулях. Розкрито їх принцип роботи. Розглянуто технічні характеристики кожної з поданих схем. Запропоновано схему будови сонячної зарядної станції для електромобілів. Описано її функціональні можливості та особливості роботи.

Ключові слова: енергозберіжні технології, сонячна електростанція, зарядна електростанція.

АНАЛИЗ СХЕМ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЯХ ДЛЯ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

А.В. Гнатов, проф., д.т.н., Щ.В. Аргун, доц., к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Проведен анализ существующих схем построения солнечных электростанций на фотоэлектрических модулях. Раскрыт их принцип работы. Рассмотрены технические характеристики каждой из представленных схем. Предложена схема построения солнечной зарядной станции для электромобилей. Описаны ее функциональные возможности и особенности работы.

Ключевые слова: энергосберегающие технологии, солнечная электростанция, зарядная электростанция.

ANALYSIS OF SOLAR POWER STATION SCHEMES ON PHOTOELECTRIC MODULES FOR ELECTRIC CARS CHARGING STATIONS

A. Hnatov, DSc., Prof., Shch. Arhun, PhD., Assoc. Prof.,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The analysis of existing schemes for building solar power stations on photoelectric modules with the revealing of their operation principles and functionality has been conducted. The specified technical characteristics of each of the analyzed schemes are given. The structural scheme of the solar charging station for electric cars with determining its functional capabilities and operation features is proposed. The practical application of this scheme will help to reduce the dependence on the general electric power supply network and will create conditions for its total rejection.

Key words: energy-saving technologies, solar power station, charging power station.

Вступ

Отримання електроенергії від сонця вже давно не є диковинкою. Цей альтернативний, екологічний спосіб генерації енергії з кожним днем все активніше використовується як в Україні, так і у всьому світі. Тому сьогодні

головним завданням науковців є вдосконалення існуючих технологій і обладнання з метою збільшення ККД і зменшення вартості для масштабного впровадження у всі сфери життя. Як відомо, для перетворення сонячної енергії в електричну використовують сонячні електростанції (СЕ). Від їх конструкції зале-

жать способи перетворення сонячної енергії [1, 2]. Найпоширеніший тип СЕ базується на плоских фотоелектричних модулях (сонячних панелях) монокристалічного або полікристалічного типу. Завдяки цим панелям відбувається перетворення сонячної енергії в постійний струм.

Залежно від схеми, що застосовується, постійний струм може інвертуватися у змінний або стабілізуватися для заряду акумуляторних батарей (АКБ) [3].

Аналіз публікацій

Можна сміливо стверджувати, що напрям для розвитку сонячної фотоелектричної енергетики відкрив А. Ейнштейн, який заклав основи загальної теорії фотоефекту. Саме за цю теорію у 1921 р. він отримав Нобелівську премію з фізики [4]. У кінці ХХ ст. лідером у виробництві сонячних панелей (сонячних батарей) для СЕ став Китай.

Починаючи з 2000 р., потужність сонячних електростанцій у світі кожні три роки збільшується у два рази. Розвиток сонячної енергетики йде шляхом збільшення ККД сонячних елементів, паралельно вирішуючи такі завдання, як зниження їх вартості, збільшення терміну служби і стабільності роботи за різних зовнішніх умов експлуатації [4, 5].

Історично першими фотоелектричними сонячними елементами з ефективністю близько 6 % стали елементи на основі кристалічного кремнію [5]. Ці елементи – елементи першого покоління – у наш час складають 90 % всього ринку виробництва сонячних панелей (СП) і мають у середньому ККД 20 %, але вони мають і ряд недоліків: високу вартість виробництва, токсичність процесу виготовлення, велику кількість токсичних відходів тощо [2, 4–7].

Спроби позбутися цих недоліків привели до створення альтернативних сонячних елементів, у тому числі тонкоплівкових які вважаються елементами другого покоління із середнім ККД 15 % [2, 4].

Наступним етапом удосконалення СП стало створення органічних та багат шарових сонячних елементів – елементів третього покоління з ККД органічного полімеру близько 5 % [8, 9]. При створенні останніх дослідни-

ки намагаються вирішити такі проблеми, як зниження токсичності виробництва і відходів, зменшення собівартості за рахунок зменшення матеріальних та енергетичних витрат, збільшення швидкості виготовлення і спрощення цього процесу, досягнення максимальної стабільності роботи СП в різних погодних умовах. До елементів третього покоління відносяться так звані каскадні, або багатоперехідні сонячні елементи, в яких фотоелектричний матеріал утворений багат шаровою структурою із загальною товщиною 1–5 мкм, що містить кілька (від 2 до 4) напівпровідникових переходів. Саме для таких сонячних елементів отримані рекордні значення ККД 45–46 % [2, 4, 7, 8].

З аналізу літературних джерел та моніторингу ринку СП стає очевидним, що найбільш поширеними є полі- й монокристалічні фотоелементи. Вони займають близько 90 % ринку СП і є найбільш доступними. Та на ефективність їх роботи також значною мірою впливає вибір схеми, за якою їх підключено.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є проведення аналізу існуючих схем побудови сонячних електростанцій на фотоелектричних модулях із запропонованим конкретним рішенням щодо схемної реалізації сонячної зарядної станції для електромобілів.

Автономна сонячна електростанція постійного струму

Відповідно до принципу роботи цієї СЕ сонячна енергія, що потрапляє на сонячні панелі (СП), перетворюється в постійний електричний струм. СП з'єднані з контролерами заряду АКБ. Вдень, коли сонце є активним, згенерована електроенергія накопичується в акумуляторних батареях. І вже надалі вона може використовуватися для живлення споживачів постійного струму [3].

Схема СЕ автономного типу постійного струму подана на рис. 1, де контролер заряду – це електронний пристрій із вбудованим конвертором постійного струму DC/DC, що оптимізує параметри енергії між сонячними панелями і АКБ.

На цей час великою популярністю користуються 2 види контролерів заряду, а саме:

ШИМ і MPPT. Принцип роботи ШИМ контролера заряду СП ґрунтується на досягненні постійної напруги на акумуляторі. ШИМ-контролери (PWM-типу) забезпечують заряд АКБ. Як ємнісні накопичувачі пропонується використовувати свинцево-кислотні герметизовані батареї.

Робота MPPT контролера заряду базується на пошуку точки максимальної потужності.

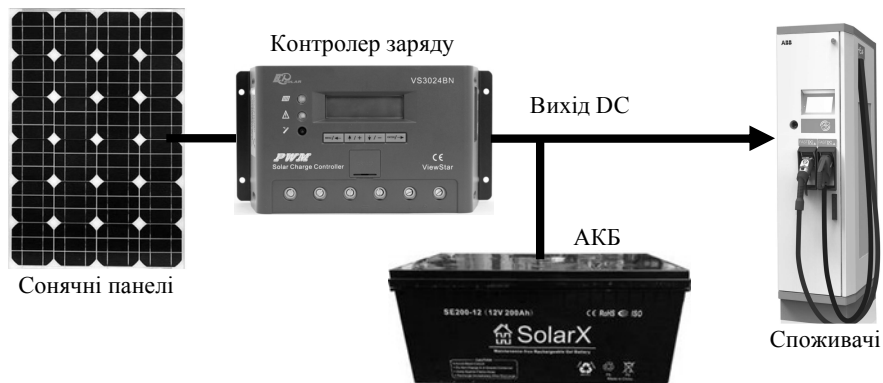


Рис. 1. Схема СЕ автономного типу постійного струму

Ці сонячні електростанції будуть ефективними у тих випадках, коли потрібно організувати автономне вуличне освітлення або забезпечити електроживленням будь-якого іншого споживача постійного струму – охоронні системи, оперативні кола постійного струму, телекомунікаційні установки (радіозв'язок, супутниковий зв'язок, Інтернет тощо) [3].

Технічні характеристики:

- ефективність роботи – 97–98 %;
- складові: СП, контролер заряду, АКБ;
- робота за «зеленим» тарифом не можлива.

Автономна сонячна електростанція змінного струму

Відповідно до принципу роботи цієї СЕ сонячна енергія перетворюється в постійний електричний струм (за допомогою СП), який подається до контролера заряду. Контролер заряду автоматично встановлює оптимальні налаштування постійного струму для заряду АКБ. Коли АКБ повністю заряджені, то зайва електроенергія подається до мережевого інвертора напруги (DC/AC), підключеного до споживачів змінного струму.

У години, коли сонця немає або сонячної енергії недостатньо для генерації електрики

Тобто це пошук значення напруги і сили струму, за яких параметри яскравості світла, нагрівання СП і кута падіння променів сонця будуть максимально ефективними. MPPT контролери заряду можуть заряджати ємнісні свинцево-кислотні, свинцево-сурм'яністі, нікель-кадмієві або літій-залізо-фосфатні накопичувачі енергії більш високого класу [3].

(ввечері, вночі та зранку), електроенергія з АКБ подається до інвертора, де перетворюється у змінну і потім вже живить споживачів змінного струму. Функції інверторів дозволяють здійснювати гнучке налаштування схеми роботи СЕ.

Схема СЕ автономного типу змінного струму подана на рис. 2. Розглянемо основні режими роботи СЕ автономного типу змінного струму.

Режим 1. Автономне електропостачання. Дана схема може застосовуватися, коли немає мережі змінного струму. Вся накопичена за світловий день електроенергія в АКБ використовується у вечірній та нічний час для живлення споживачів змінного струму. Правильний розрахунок потужності сонячних панелей і достатня енергоємність АКБ дозволяють забезпечити повну автономність об'єкта.

Режим 2. Змішане електропостачання. Цей вид СЕ вимагає наявності мережі змінного струму, яка використовується при розряді АКБ, щоб не відбувалося припинення подачі електропостачання споживачів. Перевага цього типу полягає в тому, що немає необхідності встановлювати багато СП та АКБ, бо завжди є можливість отримати нестачу електроенергії від централізованої мережі.



Рис. 2. Схема СЕ автономного типу змінного струму

Режим 3. Резервне електропостачання. У цьому випадку схема СЕ передбачає налаштування інвертора таким чином, що АКБ залишається завжди зарядженою на 100 %. Лише невелика кількість виробленої сонячної електроенергії витрачається на підтримку повного заряду акумуляторів, решта об'єму перетворюється на змінний струм і використовується для живлення споживачів, надлишок віддається в мережу, згідно з умовами «зеленого» тарифу.

Технічні характеристики:

- ефективність роботи до 90–93 %;
- складові: СП, контролер заряду, АКБ; мережевий інвертор;
- можлива робота в умовах «зеленого» тарифу.

Мережева сонячна електростанція змінного струму

Відповідно до принципу роботи цієї СЕ постійний струм, що виробляється СП, подається на вхід мережевого інвертора, який перет-

ворює постійний струм на змінний. Вихід від мережевого інвертора підключено до мережі змінного струму, а також до споживачів електроенергії. Вказана схема відрізняється своєю простотою, однак конструкція має кілька особливостей. СЕ працює тільки тоді, коли доступна електрична мережа змінного струму, а також напруга в мережі перебуває в робочому діапазоні інвертора.

Схема мережевої СЕ змінного струму подана на рис. 3.

У денний час, коли споживання електроенергії, як правило, знаходиться на мінімальному рівні, вироблена енергія передається в мережу за «зеленим» тарифом. У вечірній та нічний час енергія надходить з мережі. Таким чином, вказаний вид СЕ дозволяє істотно економити на витратах за оплату електроенергії, а якщо збільшити масив СП, то домогосподарство буде отримувати прибуток за позитивну різницю виробленої й витраченої електроенергії за підсумками певного терміну.

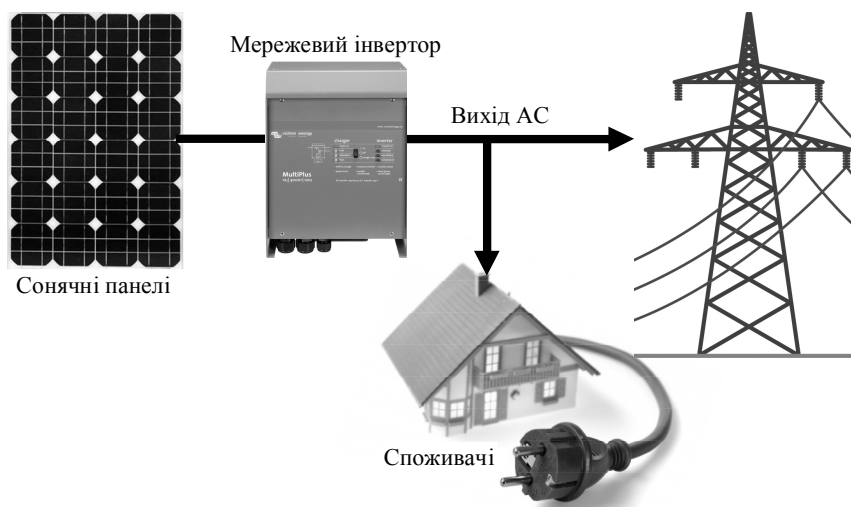


Рис. 3. Схема мережевої СЕ змінного струму

Технічні характеристики:

- ефективність роботи – до 97 %;
- складові: СП, мережевий інвертор;
- можлива робота в умовах «зеленого» тарифу.

Гібридна сонячна електростанція змінного струму

Відповідно до принципу роботи цієї СЕ постійний струм, що виробляється СП, подається на вхід мережевого інвертора, який перетворює постійний струм на змінний. Вихід від мережевого інвертора підключено до мережі змінного струму через розподільчий щит, а також до споживачів електроенергії. Мережа змінного струму підключається до входу гібридного інвертора; також до гібридного

інвертора підключено АКБ. Виходи мережевого сонячного інвертора і гібридного інвертора об'єднані через розподільний щит і забезпечують електроживленням споживачів змінного струму.

Застосування гібридного інвертора із зарядним пристроєм у цьому типі СЕ забезпечує ряд переваг – електростанція працює навіть за відсутності напруги в мережі змінного струму, а також в умовах нестабільної мережі. Доступно кілька режимів роботи, які можуть гнучко налаштовуватися відповідно до потреб та залежно від пори року.

Схему гібридної СЕ змінного струму подано на рис. 4.

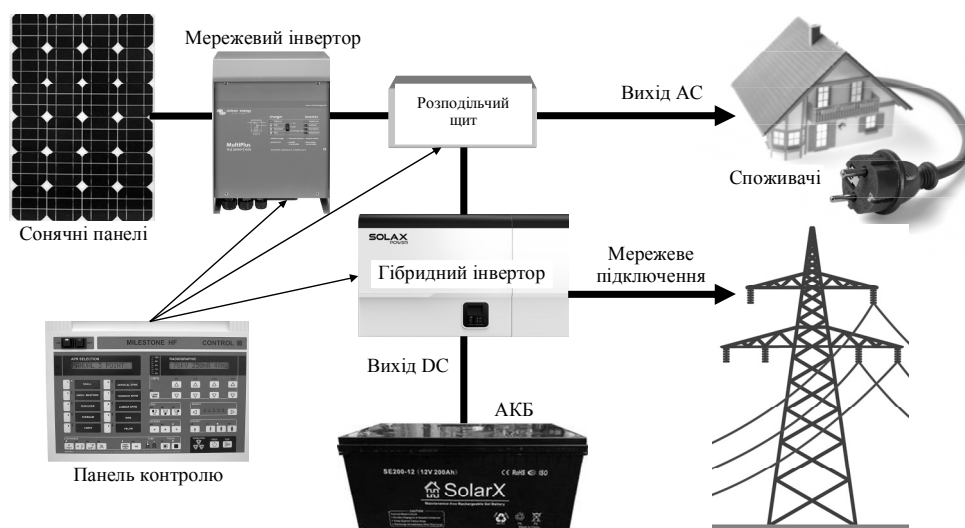


Рис. 4. Схема гібридної СЕ змінного струму

Розглянемо основні режими роботи гібридної СЕ змінного струму.

Режим 1. Автономна електростанція. Згенерована електроенергія накопичується в АКБ. Мережевий інвертор подає змінну напругу на вихід гібридного інвертора, який здійснює заряд АКБ. Надлишок електроенергії використовується споживачами або віддається в мережу змінного струму за умовами «зеленого» тарифу. У вечірній та нічний час електроживлення забезпечується гібридним інвертором від акумуляторів.

Для автономного електропостачання потрібно встановлювати СП відповідної потужності, щоб згенерованої електроенергії вистачало на достатній заряд АКБ, а їх ємності було достатньо, щоб покрити потреби споживачів.

Режим 2. Змішане електропостачання. У цьому випадку допускається незначний або повний розряд АКБ (задається на панелі контролю), після чого електроживлення буде переключене на мережу змінного струму. Мережевий інвертор продовжує роботу в будь-якому випадку і доповнює потужність системи, а також продовжує заряджати АКБ. Надлишок електроенергії передається в мережу за умовами «зеленого» тарифу.

Режим 3. Резервне електропостачання. Схема налаштована таким чином, що АКБ задіяні тільки за відсутності живлення від централізованої електричної мережі (аварія, планове або віялові відключення тощо). Сонячний інвертор виробляє електроенергію й забезпечує нею споживачів. Надлишок енергії передається в мережу за умовами «зеленого»

тарифу. Подібні СЕ застосовуються для місць, де потрібно створити систему гарантованого електроживлення, а також знизити залежність або повністю відмовитися від загальної мережі електропостачання, наприклад, для будинків, котеджів, офісів, готелів, баз відпочинку тощо.

Технічні характеристики:

- ефективність роботи – до 97 %;
- складові: СП, мережевий інвертор, гібридний інвертор, розподільчий щит, панель контролю, АКБ;
- можлива робота в умовах «зеленого» тарифу.

Сонячні зарядні станції для електромобілів

Виходячи з проведеного аналізу конструкцій, типів і будови СЕ та відповідно до поставленого завдання, за основу для сонячної зарядної станції для електромобілів обрано гібридну СЕ змінного струму.

Схему реалізації сонячної зарядної станції для електромобілів подано на рис. 5. Принцип роботи цієї схеми співпадає з принципом роботи схеми, поданої на рис. 4. Відмінність цих двох схем полягає лише в тому, що споживачами виступають зарядні системи електромобілів через відповідний порт зарядного пристрою.

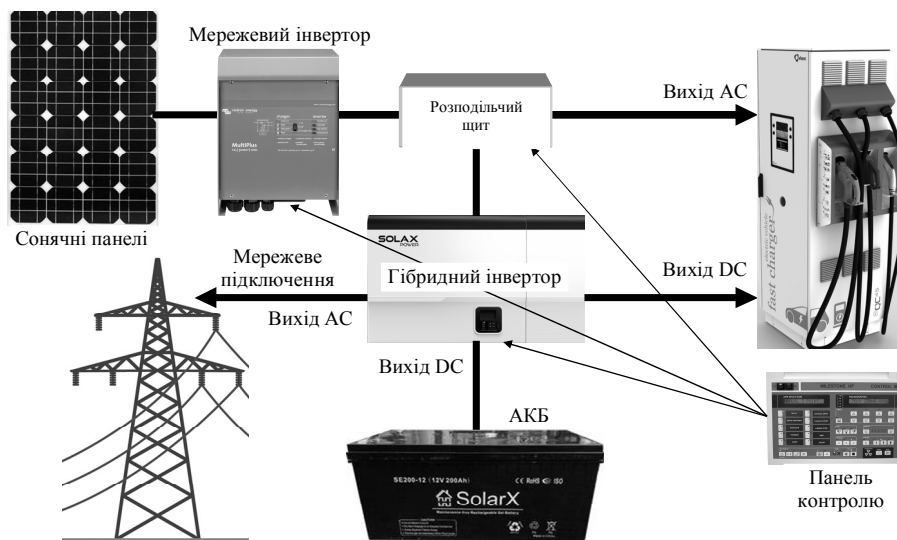


Рис. 5. Схема сонячної зарядної станції для електромобілів

Якщо заряд йде постійним струмом, то електрична енергія надходить з гібридного інвертора через мережу постійного струму. Якщо заряд електромобіля здійснюється змінним струмом, то система заряду підключається до мережі змінного струму. Електроенергія в цьому випадку надходить або від гібридного інвертора, або від мережевого інвертора через розподільчий щит. Потік електроенергії визначається програмним чином (панель контролю) залежно від наявних умов та стану заряду АКБ сонячної зарядної станції. При цьому якщо АКБ сонячної зарядної станції будуть повністю заряджені, передбачається робота станції за «зеленим» тарифом з відданням надлишків енергії в загальну мережу через гібридний інвертор.

Технічні характеристики:

- ефективність роботи – до 97 %;
- складові: СП, мережевий інвертор, гібридний інвертор, розподільчий щит, панель контролю, АКБ, зарядна станція з роботою від постійного та змінного струму;
- можлива робота в умовах «зеленого» тарифу.

Подібні зарядні електростанції знижують залежність від загальної електромережі електропостачання або дозволяють повністю відмовитися від неї. Як АКБ у запропонованій зарядній станції планується використовувати вживані АКБ від електромобілів. У подальших роботах буде подано більш детальний аналіз сонячних зарядних станцій для електромобілів з розрахунком їх основних складових та аналізом енергетичних і електричних процесів, що протікають.

Висновки

Запропоновано схему будови сонячної зарядної станції для електромобілів із зазначенням її функціональних можливостей та особливостей роботи.

Сонячні зарядні станції для електромобілів знижують залежність від загальної електромережі електропостачання або дозволяють повністю відмовитися від неї.

Застосування подібного типу сонячних зарядних станцій створює умови до переходу на роботу за «зеленим» тарифом. Це сприяє енергонезалежності та енергоефективності підприємств та організацій, що експлуатують вказані зарядні станції.

Література

1. Ахмедов Р. Б. Гелиоэнергетика. Солнечные электрические станции / Р. Б. Ахмедов и др. – М.: ВИНТИ, 1986. – 120 с.
2. Marti A. Next Generation Photovoltaics / A. Marti, A. Luque eds. – Bristol: Institute of Physics Publ., 2004 – 344 с.
3. Абрамова О. Види та типи: схеми сонячних електростанцій / О. Абрамова // Матеріали сайту. – 2016. – Режим доступу: <http://ukrenerho.com/vidi-ta-tipi-shemi-sonyachnih-elektrostantsij/>.
4. Миличко В.А. Солнечная фотовольтаика: современное состояние и тенденции развития / В.А. Миличко // Успехи физических наук. – 2016. – Т. 186, №. 8. – С. 801–852.
5. Chapin D. M., Fuller C. S., Pearson G. L. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power // Journal of Applied Physics. – 1954. – Т. 25, №. 5. – P. 676–677.
6. Ginley D. S. Fundamentals of materials for energy and environmental sustainability / D. S. Ginley, D. Cahen (ed.). – Cambridge university press, 2011. – 754 p.
7. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.
8. Wei C. Y. Efficiency improvement of HIT solar cells on p-type Si wafers / C.Y. Wei et al. // Materials. – 2013. – Vol. 6, №. 11. – P. 5440–5446.
9. Green M. A. Third generation photovoltaics: advanced solar electricity generation / M. A. Green. – Springer-Verlag, Berlin. – 2003. – 160 p.

References

1. Akhmedov R. B. *Gelioenergetika. Solnechnye elektricheskie stantsii* [Solar energy. Solar power plants]. Moscow, VINITI Publ., 1986. 120 p.
2. Marti A., Luque A. (ed.). Next generation photovoltaics: high efficiency through full spectrum utilization. CRC Press, 2003. 344 p.
3. Abramova O. *Vydy ta typy: shemy sonyachnyh elektrostancij* [Types and types: Solar Power Plants]. 2016. Available at: <http://ukrenerho.com/vidi-ta-tipi-shemi-sonyachnih-elektrostantsij/>.
4. Milichko V. A. *Solnechnaia fotovol'taika: sovremennoe sostoianie i tendentsii razvitiia* [Solar photovoltaics: current state and development trends]. Uspekhi fizicheskikh nauk. 2016. vol. 186. no. 8, pp. 801–852.
5. Chapin D. M., Fuller C. S., Pearson G. L. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power. Journal of Applied Physics, 1954, vol. 25, no. 5, pp. 676–677.
6. Ginley D. S., Cahen D. (ed.). Fundamentals of materials for energy and environmental sustainability. Cambridge university press, 2011. 754 p.
7. Raushenbakh G. *Spravochnik po proektirovaniu solnechnykh batarei* [Guide to the design of solar panels]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 360 p.
8. Wei C. Y. Efficiency improvement of HIT solar cells on p-type Si wafers. Materials, 2013, vol. 6, no. 11, pp. 5440–5446.
9. Green M.A. Third generation photovoltaics: advanced solar electricity generation. Springer-Verlag, Berlin, 2003. 160 p.

Рецензент: О.В. Бажинов, професор, д.т.н., ХНАДУ.