

Любомира Ігорівна Одосій,

кандидат хімічних наук, доцент, професор кафедри електромеханіки та електроніки
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Україна
orcid.org/0000-0003-2438-7759, e-mail: odosiu@ukr.net

Марина Станіславівна Міхалєва,

кандидат хімічних наук, доцент, професор кафедри електромеханіки та електроніки
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Україна
orcid.org/0000-0001-5612-3737, e-mail: galmih@ukr.net

Михайло Казимирович Старчевський,

доктор хімічних наук, доцент, професор кафедри біології і хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0001-7183-6073, e-mail: Starm@ukr.net

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ СВІТЛОЧУТЛИВИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Анотація. В статті розглянуто стан енергетичної ситуації сьогодення, що вимагає модернізації енергосистем з використанням відновлюваних джерел, які забезпечують екологічні аспекти. Сонячне світло є одним з екологічно сталих «чистих» ресурсів, які активно використовуються для виробництва еко-електроенергії. Використання таких відновлюваних джерел базується на удосконаленні процесів фотоперетворення з метою одержання «чистої» електроенергії в максимально екологічно-вигідних умовах. Саме тому різноманітні дослідження в області фотовольтаїки є досить актуальними і перспективними, що дадуть змогу підвищити обсяги здобутої екоенергії.

Проведено аналіз розвитку технологій сонячної енергетики, використання яких сприяє динамічному розвитку фотоелектричної промисловості України, фотовольтаїчних матеріалів і конструкційних модифікацій сонячних панелей з метою подальшого прогресу даної галузі.

Висвітлено сучасні підходи, які використовуються для виготовлення фотоелектричних систем з врахуванням використання світлочутливих матеріалів з залученням розширеного діапазону світла.

Проаналізовано сучасні методи оцінювання ефективності наноматеріалів та запропоновано швидкий метод оцінки за допомогою математичного моделювання.

Ключові слова: енергосистеми, світлочутливі матеріали, фотоелементи, математичне моделювання.

ВСТУП

Енергетика України перебуває у стані війни із 2014 р., що відіграло неабияку роль і внесло деякі корективи, які запровадили низку регуляторних змін, покликаних стабілізувати галузь і вирішити критичні проблеми. Пріоритетним напрямом зовнішньої політики України стало об'єднання енергосистем України та Європейського Союзу (далі – ЄС), що засвідчує рух у бік євроінтеграції. Цей крок формує доступ до величезного та ліквідного європейського ринку, відкриває вікно можливостей для модернізації енергетичної галузі України [1–4]. Процеси модернізації полягають також

у збільшенні частки відновлюваних джерел енергії в загальному балансі встановлених потужностей шляхом розвитку новітніх технологій та інновацій.

У зв'язку з повномасштабним вторгненням Росії електроенергетика зазнала величезних руйнівних втрат і увійшла у список критичної інфраструктури серед стратегічних галузей знищення. Енергетичний тероризм вніс суттєві негативні зміни у сферу енергетики країни, зокрема й у галузь відновлюваної енергетики, що потребує якнайшвидшого реагування на ситуацію.

Зокрема, євроінтеграція потребує врахування екологічних аспектів, що вимагає радикальних змін і вказує на те, що централізовані енергетичні системи минулого, які залежать від поставок викопного палива та ядерної енергії, виявилися надзвичайно вразливими до навмисних нападів і терору. У майбутньому енергетична безпека України та Європи не зможе покладатися на розширення інфраструктури на викопному паливі, яка за своєю природою критично вразлива до диверсій і прямих військових атак. Застарілі способи енергозабезпечення, що залежать від імпортованих поставок викопного палива, більше не життєздатні, а тому заходи з енергоефективності мають стояти на першому місці перед плануванням нової інфраструктури централізованої електрифікації, яка має базуватися на відновлюваних джерелах енергії.

Проаналізовано, що в період із 2018 по 2021 рр. загальна встановлена потужність відновлюваних джерел енергії зростає в 4 рази й у 2021 р. частка відновлюваної електроенергії досягла 8,1%, або 12,8 ГВт-год. Із загального обсягу 60% було забезпечено сонячною енергією, 30% вітром, майже 8% біомасою та біогазом і 2% малими ГЕС.

Надзвичайно потужним джерелом енергії є Сонце, світло якого є найбільшим джерелом енергії Землі. Використання цього джерела має потенціал для задоволення всіх майбутніх енергетичних потреб і стає все більш привабливим як джерело відновлюваної енергії, оскільки забезпечує також і екологічні аспекти. Потенціал для сонячної енергії величезний, оскільки приблизно у 200 тисяч разів перевищує загальну добову електричну потужність. Однак висока вартість її збору, перетворення та зберігання все ще обмежує її експлуатацію. Зокрема, інтенсивність світла на поверхні Землі насправді досить низька, що пов'язано з величезним радіальним поширенням радіації віддаленого сонця, а також втратами, пов'язаними з атмосферою Землі та хмарами, які поглинають або розкидають до 54% сонячного світла.

Сонячне світло, що досягає Землі, складається з майже 50% видимого світла, 45% інфрачервоного (далі – ІЧ) випромінювання, невеликої кількості ультрафіолетових (далі – УФ) та інших форм електромагнітного випромінювання. Саме тому для збору більшої кількості енергії доцільним є залучення світла з ІЧ спектра, що є можливим завдяки використанню та різного виду світлочувливих матеріалів. Перспективними в даному аспекті є глибокозабарвлені органічні барвники [4].

Усе викладене вище вказує на актуальність проведення дослідження, спрямованого на формування наукових основ створення та вивчення ефективності нових світлочувливих матеріалів із фотокаталітичною активністю (далі – ФА) з розширеним діапазоном світлочувливості.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Нині на ринку можна знайти п'ять типів сонячних батарей (далі – СБ), у яких застосовуються різні фоточувливі матеріали [5–10]. Залежно від структури

використовуваного напівпровідника їх розрізняють як сонячні елементи на основі кристалічних, полікристалічних, мікрокристалічних, аморфних матеріалів.

Основним матеріалом для виготовлення сонячних елементів натеper є кристалічний кремній. На ринку фотовольтаїки частка сонячних елементів і модулів, вироблених на основі кристалічного кремнію, зараз перевищує 90%, із яких приблизно 2/3 припадає на полікристалічний кремній і 1/3 – на монокристалічний. Інша частина ринку фотовольтаїки припадає на плівкові елементи на основі інших матеріалів, понад 5% становлять сонячні елементи (далі – SE) на основі тонких плівок аморфного гідрогенізованого кремнію.

Отже, продуктивність сонячних батарей і кількість електроенергії, що буде вироблено за допомогою сонячного модуля, залежить від ефективності перетворення сонячної енергії.

Монокристалічні елементи мають найбільш високий показник ефективності, що перебуває на рівні 23%. Досягається цей показник завдяки високому ступеню очищення кремнію. Полікристалічні модулі володіють 12–18% ефективністю. Істотне зниження досягається через використання вторинної сировини у виробництві полікристалів. Домішки вуглецю, кисню й інших елементів зменшують робочу площу батареї.

Основним недоліком сонячних елементів на основі кристалічного кремнію є їхня висока вартість, бо 50% від загальної вартості цих елементів становить вартість кремнієвої підкладки (Si-підкладки). Виготовлення елементів даного виду є вельми енергоємним, великі й загальні втрати кремнію внаслідок його обробки та різання. У зв'язку з тим, що монокристалічний і полікристалічний кремній – непрямозонні напівпровідники, їх коефіцієнт поглинання невисокий, для ефективного поглинання сонячного світла товщина виготовлених із них фотоелектричних перетворювачів (далі – ФЕП) має становити сотні мікрон. Це призводить до значних витрат кремнію та високої вартості сонячних елементів.

Перспективним видається створення тонкоплівкових сонячних елементів [6] на основі аморфного гідрогенізованого та мікрокристалічного кремнію, моделі яких показують ефективність на рівні 13%. Тонкоплівкова технологія отримання шарів аморфного гідрогенізованого та мікрокристалічного кремнію за низьких температур має великі потенційні можливості для зниження вартості сонячних модулів, що значно прискорює темпи зниження цінової політики їх виробництва. Окрім того, тонкоплівкова технологія має низку специфічних видів застосування, а саме можливість створювати напівпровідникові структури на гнучких підкладках, так звані гнучкі модулі. SE на гнучкій основі мають велику перевагу у використанні, оскільки мають малу вагу, можуть монтуватися на будь-якій поверхні, що робить їх пріоритетними у використанні різних галузей, зокрема у військовій. Обмеження пов'язані з фізичними розмірами панелей.

Натеperумасовому виробництві сонячних елементів використовують гетеропереходи на основах кристалічного кремнію (c-Si) і гідрогенізованого аморфного кремнію (a-Si:H), телуриду кадмію (CdTe), диселеніду індію (CuInSe₂ – CIS), диселеніду галію (CuGaSe₂ – CGS), а також твердих розчинів CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ – CIGS тощо [7].

Висока поглинаюча здатність щодо сонячного випромінювання аморфного кремнію, особливо бінарних напівпровідникових сполучень, а також твердих розчинів на їхній основі, дозволяє істотно зменшити товщину сонячного елемента. Проте зниження товщини активних шарів фотоперетворювача приводить до зміни процесів струмопереносу, зокрема до зростання ролі тунельних ефектів.

Для таких конфігурацій різних типів SE, багатошарових також, тандемних, зі складною структурою, оцінка ефективності роботи ФЕП, особливо на початковому етапі, дуже важлива. Основним методом оцінки експлуатаційних характеристик

фотоелектричного перетворювача є вимірювання вольт-амперних характеристик (далі – ВАХ) [11; 12].

Вольт-амперна характеристика сонячної панелі – це один із найважливіших параметрів, який безпосередньо пов'язаний з енергоефективністю СП, що відображає її конструкційні характеристики.

Для сонячних панелей вироблені та стандартизовані нормальні показники вольт-амперної характеристики, які враховуються також під час проєктування моделей, забезпечення необхідних потужностей. Отримують номінальну криву, яка характеризує напівпровідниковий перетворювач, за якою можна оцінити потужність фотоелектричного компонента. Даний метод є досить часозатратним, тому пропонується використання аналітичних моделей визначення ефективності сонячних ФЕПів.

До перспективних аналітичних моделей, що дозволяють визначити ефективність фотоелементів, можна віднести програмні засоби AMPS-1D, SCAPS, gprdm, а також математичне моделювання за допомогою програми MATLAB [13–15].

РЕЗУЛЬТАТИ

Фотокаталітичні системи на основі неорганічних оксидів металів, які чутливі до дії світла видимої та ближньої ІЧ-смуг спектра, засвідчують перспективність використання для перетворення й акумулювання енергії сонячного випромінювання, створення фотоелектрохімічних сонячних елементів тощо. Успішне виконання зазначених вище завдань можливе лише завдяки підвищенню ККД використання світла та квантових виходів фотокаталітичних процесів за участю відомих фотокаталізаторів [16].

Особлива увага приділяється використанню як фотокаталізаторів світлочутливих гетероструктур (далі – ГС), які містять у визначених співвідношеннях напівпровідник-фотокаталізатор і барвник-сенсibilізатор. Такі гетероструктури – сучасний напрям створення фотокаталітично активних матеріалів із розширеним діапазоном світлочутливості. Для успішного функціонування фотокаталізаторів-гетероструктур необхідний вибір їхніх компонентів з визначеними оптичними, електрофізичними й електрохімічними характеристиками, які забезпечують термодинамічний вигравш усіх можливих електронних процесів, які приводять до здійснення фотокаталітичного перетворення в умовах опромінення світлом потрібного спектрального діапазону.

Водночас низка важливих чинників, які слугують науковою основою цілеспрямованого дизайну світлочутливих оксидних напівпровідникових систем із заданими властивостями, досі залишається поза увагою. Потребують подальшого розвитку зв'язки між спектральними й електрохімічними характеристиками сенсibilізаторів і фотокаталітичними властивостями ГС на їх основі, а також методи швидкого контролю їхньої ефективності.

Продуктивність СП і кількість електроенергії, що виробляється нею, залежить від ефективності перетворення сонячної енергії та визначається її основними характеристиками [13], як-от:

- номінальна потужність (P_{max});
- напруга за максимальної потужності (Voltage at Maximal Power Point, U_{mpp});
- напруга холостого ходу (Open Circuit Voltage, V_{oc});
- ККД фотомодуля (%);
- струм за максимальної потужності (Current at Maximum Power Point, I_{mpp});
- струм короткого замикання (Short Circuit Current, I_{sc});

- ефективність модуля (Module Efficiency);
- діапазон робочих температур (Operating Temperature);
- максимальна напруга системи (Maximum System Voltage);
- стійкість до зворотного струму (Maximum Series Fuse Rating);
- тип комірки (Cell type);
- носій комірки та кількість комірок (Number of cells);
- габаритні розміри модуля (Module dimensions).

Проведено порівняння характеристик сонячної панелі відомої марки та даних, які отримано шляхом математичного моделювання, з метою визначення адекватності даного методу для вирішення завдання оптимізації часу, структури та конфігурації багат шарових СЕ на основі нових сконструйованих багат шарових ГС, який містить барвник-сенсibilізатор.

За досліджувану модель обрана сонячна панель “Risen RSM 60-8-315M” з відомими номінальними характеристиками, які відображено в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики СП “Risen RSM 60-8-315M”	
Тип	Монокристалічна
Потужність, Вт	315
Напруга за макс. потужності, В	33,3
Струм за макс. потужності, А	9,46
Напруга холостого ходу, В	40,5
Струм короткого замикання, А	9,99
ККД фотомодуля, %	18,9
Кількість фотоелементів, шт.	60
Габарити, мм (довжина, ширина, товщина)	1 640 x 992 x 35

Для одержання результатів використано середовище математичного моделювання Multisim. Схема моделювання та графік, який одержано у процесі дослідження, зображені на рис. 1.

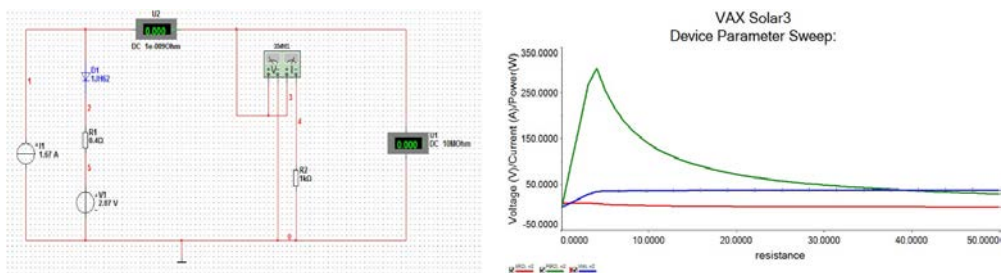


Рис. 1. Схема та графічна крива VAX СП “Risen RSM 60-8-315M”

Отримана крива з належною точністю характеризує досліджувану СП, що корелюється з її технічними ВАХ.

Аналіз отриманих результатів дозволяє стверджувати, що запропонований алгоритм моделювання досить точно описує струмоутворення в сонячних панелях і може застосовуватись для розрахунків ефективності СП з використанням фотоактивних матеріалів із розширеним діапазоном світлочутливості.

ВИСНОВКИ

Побудова імітаційної математичної моделі для отримання вольт-амперної характеристики дозволяє розраховувати оптичні й електричні параметри широкого діапазону конфігурацій СП.

Порівняно з експериментальними випробуваннями математичне моделювання не потребує дорогого обладнання, а також належить до швидкісного методу аналізу ефективності світлочутливих матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Енергетика під час війни в Україні: які зміни в регулюванні? URL: https://jurliga.ligazakon.net/aktualno/12602_energetika-pd-chas-vyni-v-ukran-yak-zmni-v-regulyuvann.
2. Климчук А. Додати Сонце – як джерело енергії. 2016. URL: <https://alternative-energy.com.ua/uk/soncze-yak-dzherelo-energi%d1%97//>.
3. Чекунова С. Перспективні технології фотоелектричної сонячної енергетики. 2021. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/perspektivni-tekhnologii-fotoelektrychnoi-soniachnoi-energetyky>.
4. Як вибрати сонячні батареї? Переваги та недоліки. URL: <http://www.ekosystem.lviv.ua/p-solar>.
5. Які бувають сонячні батареї. Різновиди і характеристики. URL: <https://ekotechnik.in.ua/tipy-solnechnyh-batarej/>.
6. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния / В.П. Афанасьев и др. 2-е изд. Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 168 с.
7. Руденко О.В. Дослідження плівкових сонячних перетворювачів : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні ; спеціальність 171 «Електроніка»; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2020. 96 с.
8. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики / В.П. Кожем'яко та ін. *Оптико-електронні пристрої та компоненти в лазерних і енергетичних технологіях*. С. 141–157.
9. Novikov G.F., Gapanovich M.V. Third generation Cu-In-Ga-(S, Se) based solar inverters. *Phys. Usp.*, 2017. 60. P. 161–178 ; Новиков Г.Ф., Гапанович М.В. Солнечные преобразователи третьего поколения на основе Cu-In-Ga-(S, Se). *УФН*, 2017. 187. С. 173–191.
10. Параметри сонячних батарей - ВАХ. URL: <https://solar.kiev.ua/ua/blog/alternative-energy/osnovnye-harakteristiki-solnechnyh-panelej-volt-ampnaja-harakteristika-vah>
11. Горянін В.М. Вимірювач ВАХ сонячних елементів : дипломна робота на здобуття ступеня бакалавра ; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Київ, 2018. 49 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28850/1/Horianin_bakalavr.pdf.
12. Технічні характеристики фотоелектричних модулів Vitovolt 300 та їхні значення. URL: <https://www.viessmann.ua/uk/zhytlovi-budynky/porady/tech-charakterystyky-soniachnych-paneley.html>.
13. Loss mechanisms in high efficiency polymer solar cells / R.C.I. MacKenzie et al. *Adv. Energ. Mat.* 2015. DOI: 10.1002/aenm.201501742.
14. Datta A., Chatterjee P. Computer Modeling of Heterojunction with Intrinsic Thin Layer "HIT" Solar Cells: Sensitivity Issues and Insights Gained. *Solar Cells – Thin-Film Technologies* / Edited by Prof. Leonid A. Kosyachenko. InTech, 2011. P. 275–302.
15. Шам О.М. Математичне моделювання фотоелектричного перетворювача за допомогою програми Matlab. *Електронне моделювання*. 2019. Т. 41. № 1. С. 19–26.

16. Sensitization of TiO₂ by symmetric onic polymethina dye with three conjugated chromophores / I.M. Kobasa et al. *Research on Chemical intermediates*. 2019. Vol. 45 (8). P. 4043–4052.

REFERENCES

1. Enerhetyka pid chas viiny v Ukraini: yaki zminy v rehuliuванні? [Energy during the war in Ukraine: what changes in regulation?]. URL: https://jurliga.ligazakon.net/aktualno/12602_energetika-pd-chas-vyni-v-ukran-yak-zmni-v-regulyuvann [in Ukrainian].
2. Kymchuk A. (2016). Sontse – yak dzherelo enerhii [The sun is a source of energy]. URL: <https://alternative-energy.com.ua/uk/soncze-yak-dzherelo-energi%d1%97//> [in Ukrainian].
3. Chekunova S. (2021). Perspektyvni tekhnologii fotoelektrychnoi soniachnoi enerhetyky [Prospective technologies of photovoltaic solar energy]. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/perspektyvni-tekhnologii-fotoelektrychnoi-soniachnoi-energetyky> [in Ukrainian].
4. Yak vybraty soniachni batarei? Perevahy ta nedoliky [How to choose solar batteries? Advantages and disadvantages]. URL: <http://www.ekosystem.lviv.ua/p-solar> [in Ukrainian].
5. Yaki buvaiut soniachni batarei. Riznovydy i kharakterystyky [What are solar batteries? Varieties and characteristics]. URL: <https://ekotechnik.in.ua/tipy-solnechnyh-batarej/> [in Ukrainian].
6. Afanasyev V.P., Terukov E.I., Sherchenkov A.A. (2011). Tonkoplenochnye solnechnye elementy na osnove kremniya [Thin film solar cells based on silicon]. 2nd ed. St. Petersburg: “LETY” publishing house of St. Petersburg HETU [in Russian].
7. Rudenko O.V. (2020). Research of film solar converters: explanatory note to the attestation work of a student of higher education at the second (master’s) level, specialty 171 Electronics [Doslidzhennia plivkovykh soniachnykh peretvoriuvachiv : poiasniuvalna zapyska do atestatsiinoi roboty zdobuvacha vyshchoi osvity na druhomu (mahisterskomu) rivni ; spetsialnist 171 «Elektronika»]. Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv. national University of Radio Electronics. Kharkiv, 2020 [in Ukrainian].
8. Kozhem'yako V.P., Dombrovskiy O.H., Zherdetskiy V.F., Malinovskiy V.I., Prytulyak G.V. Analitichnyi ohliad suchasnykh tekhnologii fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv dlia soniachnoi enerhetyky [Analytical review of modern technologies of photoelectric converters for solar energy]. *Optyko-elektronni prystroi ta komponenty v lazernykh i enerhetychnykh tekhnolohiiakh – Optical-electronic devices and components in laser and energy technologies*. P. 141–157.
9. Novikov G.F., Gapanovich M.V. (2017). Third generation Cu-In-Ga-(S,-Se) based solar inverters. *Phys. Usp.* 60. Pp. 161–178 ; Novikov G.F., Gapanovych M.V. (2017). Solnechnye preobrazovateli tret'ego pokoleniya na osnove Cu-In-Ga-(S, Se) [Solar converters of the third generation based on Cu-In-Ga-(S, Se)]. *UFN*. 187. 173–191 [in Russian].
10. Parametry soniachnykh batarei - BAX [Parameters of solar batteries - BAX]. URL: <https://solar.kiev.ua/ua/blog/alternative-energy/osnovnye-harakteristiki-solnechnyh-panelej-volt-ampnaja-harakteristika-vah>
11. Horianin V.M. (2018). Vymiriuvach BAX soniachnykh elementiv [The BAX meter of solar cells]. Natsionalnyi tekhnichniy universytet Ukrainy "Kyivskiy politekhnichniy instytut imeni Ihoria Sikorskoho". Kyiv. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28850/1/Horianin_bakalavr.pdf [in Ukrainian].
12. Tekhnichni kharakterystyky fotoelektrychnykh moduliv Vitovolt 300 ta yikhni znachennia [Technical characteristics of photovoltaic modules Vitovolt 300 and their values]. URL: <https://www.viessmann.ua/uk/zhytlovi-budynky/porady/tech-kharakterystyky-soniachnych-paneley.html> [in Ukrainian].

13. MacKenzie R.C.I., Balderrama V.S., Schmeisser S., Stoof R., Greedy S., Pallarès J., Marsal L.F., Chanaewa A., Hauff E. von. (2015). Loss mechanisms in high efficiency polymer solar cells. *Adv. Energ. Mat.* DOI: 10.1002/aenm.201501742.
14. Datta A., Chatterjee P. Computer Modeling of Heterojunction with Intrinsic Thin Layer "HIT" Solar Cells: Sensitivity Issues and Insights Gained. *Solar Cells – Thin-Film Technologies* / Edited by Prof. Leonid A. Kosyachenko. InTech, 2011. P. 275–302.
15. Sham O.M. (2019). Matematychni modeliuvannia fotoelektrychnoho peretvoriuvacha za dopomohoiu prohramy Matlab [Mathematical modeling of the photoelectric converter using the Matlab program]. *Electronic modeling*. Vol. 41. № 1. P. 19–26 [in Ukrainian].
16. Kobasa I.M., Odosiy L.I., Kondratyeva I.V., Kropelnytska Yu.V. (2019). Sensitization of TiO₂ by symmetric onic polymethina dye with three conjugated chromophores. *Research on Chemical intermediates*. Vol. 45 (8). P. 4043–4052.

ABSTRACT

METHODS OF EVALUATING THE EFFICIENCY OF SOLAR ELEMENTS WITH LIGHT SENSITIVE MATERIALS

Abstract. The article examines the state of the energy situation today, which requires the modernization of energy systems using renewable sources that provide environmental aspects. Sunlight is one of the ecologically stable "clean" resources that are actively used for the production of eco-electricity. The use of such renewable sources is based on the improvement of photoconversion processes with the aim of obtaining "clean" electricity in the most ecologically favorable conditions. That is why various researches in the field of fleet voltaics are quite relevant and promising, which will make it possible to increase the amount of eco-energy obtained.

An analysis of the development of solar energy technologies, the use of which contributes to the dynamic development of the photovoltaic industry of Ukraine, photovoltaic materials and structural modifications of solar panels with the aim of further progress of this industry, was carried out.

Modern approaches used for the production of photovoltaic systems, taking into account the use of light-sensitive materials with the involvement of an extended range of light, are highlighted.

Modern methods of evaluating the effectiveness of nanomaterials are analyzed and a quick method of evaluation using mathematical modeling is proposed.

Key words: energy systems, light-sensitive materials, photocells, mathematical modeling.