



## Альтернативні джерела живлення та їх деградаційна стійкість в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру

Т.С. Вовчук<sup>1</sup>, Н.В. Дейнеко<sup>2</sup>, О.О. Кірєєв<sup>3</sup>, О.А. Левтєров<sup>4</sup>, Р.І. Шевченко<sup>5</sup>

Національний університет цивільного захисту України (м. Харків, Україна)  
email: <sup>1</sup> vov4yk\_taya@ukr.net; <sup>2</sup> natalyadeyneko@gmail.com; <sup>4</sup> alionterra@gmail.com;  
<sup>5</sup> shevchenko605@i.ua; ORCID: <sup>1</sup> 0000-0001-7962-1077; <sup>2</sup> 0000-0001-8438-0618;  
<sup>3</sup> 0000-0002-8819-3999; <sup>4</sup> 0000-0002-1475-1281; <sup>5</sup> 0000-0001-9634-6943

В роботі досліджена актуальна науково-практична задача сфери цивільного захисту, а саме можливість безперебійного функціонування систем аварійної протидії в умовах обмеженого електропостачання за рахунок використання альтернативних джерел живлення.

В ході рішення поставленої науково-практичної задачі проведено аналіз сучасного стану сонячних елементів для використання в якості резервного електроживлення систем аварійної протидії. Встановлено що тонкоплівкові сонячні елементи на основі телуриду кадмію (CdTe) р-типу провідності є перспективними сонячними елементами в умовах наземного застосування. Вони мають найвищий серед одноперехідних фотоелектричних перетворювачів теоретичний коефіцієнт корисної дії – 29%.

Для встановлення тривалості їх використання в якості резервного електроживлення систем аварійної протидії проведено аналіз деградаційної стійкості SE основи телуриду кадмію (CdTe) р-типу провідності. Шляхом аналітичної обробки світлових вольт-амперних характеристик були проаналізовані вихідні і світлові діодні характеристики SE на основі CdS / CdTe придатних для використання в якості джерела електроживлення систем аварійної протидії. Аналіз світлових діодних характеристик досліджуваних SE спочатку експлуатації поліпшуються, а після 7-8 років погіршуються і повертаються майже до своїх значень в початковому стані. Встановлено, що після 8 років експлуатації величина ККД SE SnO<sub>2</sub>:F/CdS/CdTe/Cu/ITO практично збігається з вихідним значенням, що свідчить про високу деградаційну стійкість отриманих гетеросистем. Виявлені відмінності у вихідних параметрах і світлових діодних характеристиках SE SnO<sub>2</sub>:F/ CdS/ CdTe/Cu/ ITO при освітленні з боку скляної підкладки і з боку прозорого тильного електрода, обумовлені впливом тильного діода на ефективність фотоелектричних процесів в базовому шарі.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, резервне електроживлення, система аварійної протидії, деградаційна стійкість.

**Постановка проблеми.** Зростаючі потреби світу в електроенергії, зростання населення, нові технології (такі як електромобілі) ведуть до подальших збоїв у постачанні енергією. В таких умовах істотно зростає роль електричної мережі та актуалізується проблема забезпечення її надійного функціонування. Основною задачею електричної мережі є забезпечення надійного постачання якісною електроенергією споживачів, які під'єднанні до неї.

У випадку коли відновити електропостачання протягом тривалого часу не вдається актуалізується роль забезпечення технічних систем засобами резервного електроживлення, яке на даний час забезпечується за рахунок акумуляторів для резервування низько енергетичних пристроїв та

за рахунок дизельних генераторів для пристроїв з великим споживанням електроенергії.

Авторами статті приділено увагу розгляду джерел живлення для резервування низько енергетичних пристроїв.

Тому актуальною проблемою є створення ефективних сонячних елементів для використання в якості альтернативного живлення систем аварійної протидії

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**  
На стан ліній електропередач в Європі суттєво впливає процес старіння інфраструктури: існуючі в даний час лінії електропередач були побудовані більше 30-40 років тому, істотна частина цих ліній застаріла і не відповідає сучасним технічним стандартам. Часто саме в цій ділянці систе-

ми енергопостачання виникають перебої з подачею електроенергії, які потім поширюються на всю систему [1].

Крім того країни Євросоюзу схильні до численних загроз природних катастроф, такими, як землетруси, повені, посухи, пожежі та екстремальна спека [2]. Всі ці загрози чинять негативний вплив на лінії електропередач. Домінуючими є гідрометеорологічні загрози, серед яких шторми (35%) і повені (31%) є найбільш частими [3]. Перелік названих загроз призводить до фізичного руйнування ліній електропередач, а також зниження їх пропускної здатності. Різні країни Євросоюзу уразливі в різному ступені: у той час як одні країни більш схильні до ризиків повеней або цунамі, інші страждають від частих штормів і екстремальної спеки [4]. Наприклад, Південна Європа більш схильна до сейсмічних ризиків, де такі країни, як Греція, Румунія і Балкани, знаходяться в зоні найвищої сейсмічної активності. Країни Середземномор'я більш схильні до ризиків цунамі. Країни Південної Європи більш схильні до пожеж, найвища ймовірність яких спостерігається в таких країнах, як Португалія, Іспанія, Італія і Греція. Існує також висока ймовірність збільшення частоти та інтенсивності названих загроз [5].

В такому випадку при руйнуванні мереж електропостачання залишаються без електроживлення технічні системи в тому числі і системи аварійної протидії на територіях та об'єктах, що в свою чергу може залишити без уваги початок розвитку надзвичайної події та її переростання в надзвичайну ситуацію. Робота таких систем за рахунок встановлених акумуляторів є обмеженою у часі та у випадку перевищення часу, на який розраховане функціонування акумуляторної батареї, системи аварійної протидії не працюють.

Таким чином необхідне проведення комплексу заходів щодо забезпечення безперебійної роботи систем аварійної протидії за рахунок альтернативних поновлюваних джерел. При цьому саме поняття системи передбачає сукупність елементів, об'єднаних між собою внутрішніми зв'язками, які утворюють якісно нове ціле, що взаємодіє з навколишнім середовищем за допомогою зовнішніх зв'язків.

Взагалі використання альтернативних джерел енергії активно входить в ужиток не тільки на виробництвах, а й в приватних господарствах. Якщо раніше такі елементи живлення були досить рідкісним явищем, то зараз їх широко застосовують в різних сферах життєдіяльності. Фотоелектричні технології – один з найважливіших поновлюваних джерел енергії. З моменту першого визнання в 1839 р. [6] було проведено безліч досліджень по характеристикам фотоелектричних перетворювачів. Однак підвищення ефективності і зниження витрат на фотоелектричні технології

як і раніше вимагають великих зусиль. Сонячні елементи на основі кристалічного кремнію (c-Si) відомі як матеріали в сонячних елементах першого покоління [7]. З точки зору вартості, продуктивності і технологічності, застосування нових передових матеріалів, таких як аморфний кремній (a-Si), телурид кадмію (CdTe) і діселенід міді, індію і галію (CIGS), досягається в другому і третьому поколіннях сонячних батарей. Типова ефективність перетворення технологій першого покоління в даний час складає від 15 % до 24 %, тоді як у технологій другого покоління в даний час складає від 7% до 16 % [8,9]. Ще одним важливим критерієм щодо збільшення попиту на використання сонячних елементів є деградаційна стійкість. В роботах [10,11] проведено аналіз процесів деградації, що відбувається в СЕ при першому разі у тексті слід писати повністю і у дужках вказати аббревіатуру сонячних елементах (далі – СЕ) на основі телуриду кадмію та запропоновано спосіб відновлення їх ефективності. У роботі [12] досліджували радіаційну стійкість сонячних елементів CdTe з ефективністю ~ 10% зі структурою антирадіаційний скла ? не зрозумів зі структурою, що формувалася на антирадіаційному склі. Авторами було встановлено, що в такому випадку основний перехід CdS / CdTe легко руйнується. Також важливо при використанні сонячних елементів приділити увагу можливості їх розміщення на неплоских поверхнях. Автором роботи [13] проведено дослідження сонячних елементів сформованих на гнучких підкладках.

Фотоелектричні системи можна розділити на автономні фотоелектричні системи та фотоелектричні системи, підключені до мережі [14]. Автономні системи не подають електроенергію в мережу. Такі системи можуть значно відрізнятись за розміром і застосування, наприклад, в побутовій електроніці і віддалених будинках. Наприклад в роботі [15] представлені експериментальні дослідження абсорбційних холодильників з приводом від сонячних елементів. Система була протестована при зміні сонячного випромінювання в діапазоні від 550 до 700 Вт/с сонячної енергії і 500 мл води кімнатної температури в якості охолоджуючого навантаження. Через 160 хвилин в цьому холодильнику можна підтримувати температуру від 5 до 8 °С. У роботі [16] представили сонячну світлодіодну систему вуличного освітлення, що використовує управління постійною потужністю і затемненням. Результати тестування показали, що потужність світлодіодних світильників 18 Вт і 100 Вт можна точно регулювати з похибкою 2 - 5 %.

Тому авторами роботи розглядається можливість забезпечення живлення систем аварійної протидії за рахунок сонячних елементів. Сонячні елементи в цьому випадку забезпечують більшу ефективність, і при цьому не завдають шкоди ні

навколишньому середовищу, ні людині, однак, важливою умовою для їх використання є ефективність та деградаційна стійкість.

**Метою статті** є аналіз перспективних сонячних елементів для використання в якості джерела електроживлення систем аварійної протидії. Для забезпечення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– провести аналіз ефективності сонячних елементів придатних для використання в якості джерела електроживлення систем аварійної протидії.

– провести аналіз деградаційної стійкості СЕ придатних для використання в якості джерела електроживлення систем аварійної протидії.

**Виклад основного матеріалу. Дослідження ефективності сонячних елементів придатних для резервного електроживлення систем аварійної протидії.**

Сонячні елементи на основі кристалічного кремнію і тонких плівок є найбільш поширеними комерційними технологіями в області фотовольтаїки. Однак, домінуюче становище на ринку займають сонячні елементи на основі кристалічного кремнію, серійний випуск яких складає 85% від обсягу світового виробництва всіх фотоелектричних перетворювачів [17]. Основним недоліком СЕ на основі кристалічного кремнію є їх висока вартість, так як 50% від загальної вартості даних елементів складає вартість кремнієвої пластини. При виготовленні СЕ даного виду використовується високоякісна сировина, виробництво якого в даний час є енерговитратним. Крім того, СЕ на основі монокристалічного і полікристалічного кремнію непрямоzonні провідники і, відповідно, їх коефіцієнт поглинання невисокий тому для ефективного використання сонячного випромінювання товщина базових шарів не повинна бути менше 200 мкм [18]. Також в таких приладових структурах спостерігається істотне зниження ККД із зростанням температури.

Тонкоплівкові сонячні елементи на основі телуриду кадмію (CdTe) р-типу провідності є перспективними сонячними елементами в умовах наземного застосування. Вони мають найвищий серед одноперехідних фотоелектричних перетворювачів теоретичний коефіцієнт корисної дії 29% [19]. При потужності сонячного випромінювання 100 мВт / см<sup>2</sup> максимальні теоретичні значення складають щільність струму короткого замикання 30,8 мА / см<sup>2</sup>, напруга холостого ходу 1480 мВ [20]. Однак максимальна експериментальна ефективність 16,5% зафіксована для СЕ на основі гетеросистеми CdS / CdTe [21] при реалізації тильно-бар'єрної приладової структури, представленої на рисунку 1.

Однак, незважаючи на реалізовані технології, ефективність отриманих зразків далека від теоретичного значення. Згідно з дослідженнями

[22-24] однією з фізичних проблем, що стоять на шляху досягнення теоретичного значення ККД для таких приладових структур є створення низькоомних тильних контактів до базових шарів СЕ на основі CdS / CdTe.

**Дослідження деградаційної стійкості сонячних елементів придатних для резервного електроживлення систем аварійної протидії.**

Шляхом аналітичної обробки світлових вольт-амперних характеристик були проаналізовані вихідні і світлові діодні характеристики СЕ на основі CdS / CdTe придатних для використання в якості джерела електроживлення систем аварійної протидії.

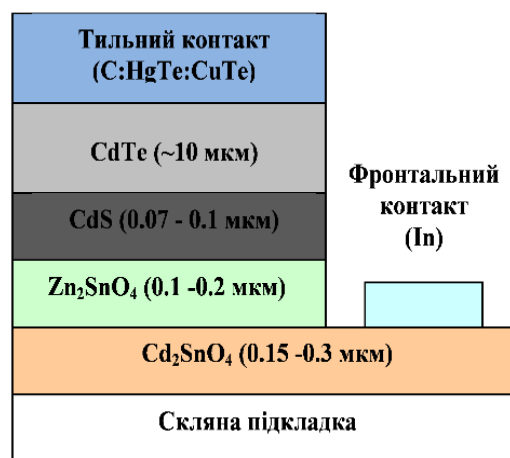


Рис. 1. Структура тильно-бар'єрної приладової структури на основі CdS / CdTe с ККД = 16,5 %

Після зняття вихідних світлових ВАХ при освітленні з фронтальної сторони зразки витримувалися при постійному світловому потоці в спеціальній камері в режимі холостого ходу. Освітлення здійснювалося лампою розжарювання потужністю 500 Вт, температура зразка становила 80°C. В було показано, що такі режими освітлення збільшують швидкість деградації в 100 разів. Через певні проміжки часу, які умовно відповідали: 0; 0,5; 1,4; 3,6; 4,2; 5,4; 6,02 і 8 років проводилися повторні вимірювання світлових ВАХ. Результати аналітичної обробки світлових ВАХ при освітленні з фронтальної сторони представлені в таблиці 1.

Аналіз таблиці 2 показує, що ефективність ФЕП при освітленні з тильного боку істотно менше, ніж при освітленні з фронтальної сторони.

**Обговорення результатів дослідження ефективності та деградаційної стійкості сонячних елементів придатних для резервного електроживлення систем аварійної протидії.**

Результати вихідних та діодних параметрів отримані протягом дослідження демонструють, що на початку експлуатації ФЕП і до 1,4 років відбувається збільшення ККД з 9,9% до 10,3%, що

обумовлено зростанням фактора заповнення світлової ВАХ від  $FF = 0,68$  до  $FF = 0,75$  на тлі незначного зниження напруги холостого ходу від  $V_{xx} = 740$  В до  $V_{xx} = 710$  В і щільності струму короткого замикання від  $J_{kз} = 19,5$   $\text{mA/cm}^2$  до  $J_{kз} = 19,4$   $\text{mA/cm}^2$ .

**Таблиця 1.** Вихідні параметри і світлові діодні характеристики ФЕП ІТО/CdS/CdTe/Cu/ІТО при освітленні з фронтальної сторони

t, год	0	0,5	1,4	3,6	4,2	5,4	6,02	8
$J_{kз}$ , $\text{mA/cm}^2$	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,4	19,4	19,4
$V_{xx}$ , МВ	740	720	710	710	710	710	710	700
FF	0,68	0,73	0,75	0,74	0,73	0,73	0,73	0,71
ККД, %	9,8	10,2	10,3	10,1	10,2	10,1	10,0	9,7
$J_{ф}$ , $\text{mA/cm}^2$	19,5	19,0	19,5	19,4	19,5	19,4	19,4	19,4
$R_{п}$ , $\text{Om}\cdot\text{cm}^2$	1,6	1,2	0,5	0,3	0,7	0,4	0,3	0,6
$R_{ш}$ , $\text{Om}\cdot\text{cm}^2$	1031	911	882	965	821	922	965	951
A	2,28	1,68	1,65	1,77	1,76	1,91	1,94	2,02
$J_0$ , $\text{A/cm}^2$	$6,2 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$9,7 \cdot 10^{-10}$	$3,3 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$9 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$

**Таблиця 2.** Вихідні параметри і світлові діодні характеристики ФЕП ІТО/CdS/CdTe/Cu/ІТО при освітленні з тильної сторони

t, год	0	1,4	3,6	5,4	6,0	8
$J_{kз}$ , $\text{mA/cm}^2$	4,7	7,5	6,7	6,7	6,9	7,0
$V_{xx}$ , МВ	650	660	660	650	650	630
FF	0,55	0,42	0,39	0,39	0,36	0,32
КПД, %	1,7	2,1	1,8	1,7	1,6	1,4
$J_{ф}$ , $\text{mA/cm}^2$	4,7	7,7	6,9	6,8	7,1	7,2
$R_{п}$ , $\text{Om}\cdot\text{cm}^2$	3,2	4,3	4,6	1,5	3,8	3,1
$R_{ш}$ , $\text{Om}\cdot\text{cm}^2$	438	146	155	150	132	112
A	1,9	1,2	1,3	1,3	1,1	1,1
$J_0$ , $\text{A/cm}^2$	$6,9 \cdot 10^{-9}$	$3,1 \cdot 10^{-13}$	$3,8 \cdot 10^{-12}$	$1,2 \cdot 10^{-11}$	$3,6 \cdot 10^{-13}$	$3,6 \cdot 10^{-13}$

При подальшому збільшенні часу експлуатації до 6 років ККД повільно знижується до 10%. Потім зниження ККД відбувається швидше і при збільшенні часу експлуатації до 8 років спостерігається зниження ефективності до 9,7%. Зниження ККД відбувається в результаті зменшення фактора заповнення світлової ВАХ від  $FF = 0,75$  до  $FF = 0,71$ , також продовжує незначно знижуватися напруга холостого ходу до 700 мВ. Щільність струму короткого замикання практично не змінюється. Необхідно відзначити, що після 8 років експлуатації величина ККД ФЕП SnO<sub>2</sub>: F/CdS/CdTe/

/Cu/ІТО практично збігається з вихідним значенням, що свідчить про високу деградаційну стійкість отриманих гетеросистем.

Світлові діодні характеристики ФЕП SnO<sub>2</sub>:F/CdS/CdTe/Cu/ІТО спочатку експлуатації поліпшуються, а після 7 - 8 років погіршуються і повертаються майже до своїх значень в початковому стані. Така поведінка діодних характеристик і обумовлює спостережувану високу деградаційну стійкість.

Співвідношення між ККД протягом усього часу експлуатації залишається в межах від 5 до 7, досягаючи мінімальної різниці тоді, коли ККД при освітленні з фронтальної і тильної сторін досягають максимальних значень.

**Висновки.** Проведено аналіз сучасного стану сонячних елементів для використання в якості резервного електроживлення систем аварійної протидії. Встановлено що тонкоплівкові сонячні елементи на основі телуриду кадмію (CdTe) р-типу провідності є перспективними сонячними елементами в умовах наземного застосування. Вони мають найвищий серед одноперехідних фотоелектричних перетворювачів теоретичний коефіцієнт корисної дії 29%

Проведено аналіз деградаційної стійкості SE основи телуриду кадмію (CdTe) р-типу провідності. Встановлено, що після 8 років експлуатації величина ККД SE SnO<sub>2</sub>:F/CdS/CdTe/Cu/ІТО практично збігається з вихідним значенням, що свідчить про високу деградаційну стійкість отриманих гетеросистем. Виявлені відмінності у вихідних параметрах і світлових діодних характеристиках SE SnO<sub>2</sub>:F/CdS/CdTe/Cu/ІТО при освітленні з боку скляної підкладки і з боку прозорого тильного електрода, які обумовлені впливом тильного діода на ефективність фотоелектричних процесів в базовому шарі.

#### Література:

1. Zachmann G. Power to the people of Europe of Europe. Bruegel Policy Brief 2010/04, 7 June 2010. – 2010.
2. Field C. B. et al. Summary for policymakers //Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, 2014. – С. 1-32.
3. Gaillard J. C., Mercer J. From knowledge to action: Bridging gaps in disaster risk reduction //Progress in human geography. – 2013. – Т. 37. – №. 1. – С. 93-114.
4. Bizottság E. Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster. Management. – Commission Staff Working Paper, 2010.
5. Komendantova N. Risk governance and vulnerability factors of critical infrastructures // Russian

Digital Libraries Journal. – 2017. – Т. 20. – №. 1. – С. 88-108.

6. D. Yang and H. Yin, Energy conversion efficiency of a novel hybrid solar system for photovoltaic, thermoelectric, and heat utilization, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 26, no. 2, pp. 662–670, 2011.

7. A. Gaur and G. N. Tiwari, Performance of photovoltaic modules of different solar cells, *Journal of Solar Energy*, vol. 2013, Article ID 734581, 13 pages, 2013.

8. G. van de Kaa, J. Rezaei, L. Kamp, and A. de Winter, Photovoltaic technology selection: a fuzzy MCDM approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 32, pp. 662–670, 2014.

9. Khrypunov G. et al. Increasing the efficiency of film solar cells based on cadmium telluride // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. - 2016. - Т. 6. - №. 5 (84). - С. 12-18.

10. Degradation of CDTE SC during operation: Modeling and experiment Bolbas, O., Deyneko, N., Yeremenko, S., Shevchenko, R., Yurchyk, Y. *Eastern - European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, 6(12-102), с. 46-51.

11. Deyneko N. et al. Development of a technique for restoring the efficiency of film ITO/CdS/CdTe/Cu/Au SCs after degradation. – 2019.

12. Guanggen, Z. Jingquan, H. Xulin, L. Bing, W. Lili and F. Lianghuan, "The effect of irradiation on the mechanism of charge transport of CdTe solar cell," 2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Tampa, FL, 2013, pp. 2801-2804, doi: 10.1109/PVSC.2013.6745054.

13. Deyneko, N. Study of methods for producing flexible solar cells for energy supply of emergency source control *Materials Science Forum*, 2020, 1006 MSF, с. 267-272.

14. G. K. Singh, "Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: a review," *Energy*, vol. 53, pp. 1–13, 2013.

15. Z.J. Chien, H.P. Cho, C.S. Jwo, C.C. Chien, S.L. Chen, and Y.L. Chen, "Experimental investigation on an absorption refrigerator driven by solar cells," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2013, Article ID 490124, 6 pages, 2013.

16. B. Huang, C. Chen, P. Hsu, W. Tseng, and M. Wu, "Direct battery-driven solar LED lighting using constant-power control," *Solar Energy*, vol. 86, no. 11, pp. 3250–3259, 2012.

17. Кириченко М. В. Влияние конструктивно-технологического решения кремниевых фотопреобразователей на параметры неосновных носителей заряда в их базовых кристаллах / М.В. Кириченко, Р.В. Зайцев, Н.В. Дейнеко, В.Р. Копач, В.А. Антонова, А.М. Листратенко // *Радиофизика и электроника*.–2007. – Т. 12. – № 1. – с.255-262.

18. De Vos A. Bandgap effects in thin-film heterojunction solar cells / A. De Vos, J. Parrott,

P. Baruch, P. Landsberg // *Proceeding 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference*.– Amsterdam (Netherlands), 1994.– P.1315-1319

19. Oman D.M. Device performance characterization and junction mechanisms in CdS/CdTe solar cells / D.M. Oman, K.M. Dugan, J.K. Killian, C.S. Cekala, C.S. Ferikides, D.L. Morel // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. – 1999. – V. 58. – №3. – P.361-373.

20. Wu X. 16.5%-Efficient CdS/CdTe polycrystalline thin-film solar cell / X. Wu, J.C. Keane, R.G. Dhere, C. DeHart, D.S. Albin, A. Duda, T.A. Gessert, S. Asher, D.H. Levi, and P. Sheldon // *17th European Photovoltaic Solar Energy Conference*. – Munich, Germany, 2001. – P.995-1000

21. Kontges M. Light induced changes in the electrical behavior of CdTe and Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cells / M. Kontges, R. Reineke-Koch, P. Nollet, J. Beier, R. Schaffler, J. Parisi // *Thin Solid Film*.– 2002. – V. 403-404. – P.396-404.

22. Romeo N. Back contact to CSS CdS/CdTe solar cells and stability of performances / N. Romeo, A. Bosio, R. Tedeshi, V. Canevari // *Thin Solid Films*.– 2000.– V. 361.– P.327-332.

23. Demtsu S. H., Sites J. R. Effect of back-contact barrier on thin-film CdTe solar cells // *Thin Solid Films*. – 2006. – Т. 510. – С. 320-324,

24. Bätzner D. L. et al. Effect of back contact metallization on the stability of CdTe/CdS solar cells // *Proceedings of the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow*. – 2000. – С. 1-5.

#### References:

1. Zachmann, G. (2010). Power to the people of Europe of Europe. Bruegel Policy Brief 2010/04, 7 June 2010.

2. Field, C. B., Barros, V. R., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Abdrabo, M. K., Adger, N., ... & Burkett, V. R. (2014). Summary for policymakers. In *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1-32). Cambridge University Press.

3. Gaillard, J. C., & Mercer, J. (2013). From knowledge to action: Bridging gaps in disaster risk reduction. *Progress in human geography*, 37(1), 93-114.

4. Bizottság, E. (2010). Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster. Management. Commission Staff Working Paper.

5. Komendantova, N. (2017). Risk governance and vulnerability factors of critical infrastructures. *Russian Digital Libraries Journal*, 20(1), 88-108.

6. D. Yang and H. Yin, Energy conversion efficiency of a novel hybrid solar system for photovoltaic, thermoelectric, and heat utilization, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 26, no. 2, pp. 662–670, 2011.

7. A. Gaur and G. N. Tiwari, Performance of photovoltaic modules of different solar cells, *Journal of Solar Energy*, vol. 2013, Article ID 734581, 13 pages, 2013.

8. G. van de Kaa, J. Rezaei, L. Kamp, and A. de Winter, Photovoltaic technology selection: a fuzzy MCDM approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 32, pp. 662–670, 2014.

9. Khrypunov G. et al. Increasing the efficiency of film solar cells based on cadmium telluride // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. - 2016. - Т. 6. - №. 5 (84). - С. 12-18.

10. Degradation of CDTE SC during operation: Modeling and experiment Bolbas, O. , Deyneko, N., Yeremenko, S., Shevchenko, R., Yurchyk, Y. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, 6(12-102), с. 46-51.

11. Deyneko N. et al. Development of a technique for restoring the efficiency of film ITO/CdS/CdTe/Cu/Au SCs after degradation. – 2019.

12. Guanggen, Z. Jingquan, H. Xulin, L. Bing, W. Lili and F. Lianghuan, "The effect of irradiation on the mechanism of charge transport of CdTe solar cell," 2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Tampa, FL, 2013, pp. 2801-2804, doi: 10.1109/PVSC.2013.6745054.

13. Deyneko, N. Study of methods for producing flexible solar cells for energy supply of emergency source control *Materials Science Forum*, 2020, 1006 MSF, с. 267-272.

14. G. K. Singh, "Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: a review," *Energy*, vol. 53, pp. 1–13, 2013.

15. Z.J. Chien, H.P. Cho, C.S. Jwo, C.C. Chien, S.L. Chen, and Y.L. Chen, "Experimental investigation on an absorption refrigerator driven by solar cells," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2013, Article ID 490124, 6 pages, 2013.

16. B. Huang, C. Chen, P. Hsu, W. Tseng, and M. Wu, "Direct battery-driven solar LED lighting

using constant-power control," *Solar Energy*, vol. 86, no. 11, pp. 3250–3259, 2012.

17. Кириченко, М.В., Зайцев, Р.В., Дейнеко, Н.В., Копач, В.Р., Антонова, В.А., & Листратенко, А.М. (2007). Влияние конструктивно-технологического решения кремниевых фотопреобразователей на параметры неосновных носителей заряда в их базовых кристаллах.

18. De Vos, A., PARROTT, J., BARUCH, P., & LANDSBERG, P. Bandgap Effects in Thin-Film Heterojunction Solar Cells. CEC. Proceedings of the 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, HS Stephens & Associates, pp. 1315-1318, Amsterdam, 1994.

19. Oman, D. M., Dugan, K. M., Killian, J. L., Ceekala, V., Ferekides, C. S., & Morel, D. L. (1999). Device performance characterization and junction mechanisms in CdTe/CdS solar cells. *Solar energy materials and solar cells*, 58(4), 361-373.

20. Wu, X., Dhere, R. G., Albin, D. S., Gessert, T. A., DeHart, C., Keane, J. C., ... & Moutinho, H. R. (2001). High-efficiency CTO/ZTO/CdS/CdTe polycrystalline thin-film solar cells (No. NREL/CP-520-31025). National Renewable Energy Lab., Golden, CO.(US).

21. Durose, K., Cousins, M. A., Boyle, D. S., Beier, J., & Bonnet, D. (2002). Grain boundaries and impurities in CdTe/CdS solar cells. *Thin Solid Films*, 403, 396-404.

22. Romeo, N., Bosio, A., Tedeschi, R., & Canevari, V. (2000). Back contacts to CSS CdS/CdTe solar cells and stability of performances. *Thin Solid Films*, 361, 327-329.

23. Demtsu, S. H., & Sites, J. R. (2006). Effect of back-contact barrier on thin-film CdTe solar cells. *Thin Solid Films*, 510(1-2), 320-324.

24. Bätzner, D. L., Wendt, R., Romeo, A., Zogg, H., & Tiwari, A. N. (2000, May). Effect of back contact metallization on the stability of CdTe/CdS solar cells. In Proceedings of the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (p. 1-5).

## Анотація

### Альтернативные источники питания и их деградационная устойчивость в условиях чрезвычайных ситуаций техногенного характера

Т.С. Вовчук, Н.В. Дейнеко, А.А. Киреев А.А. Левтеров, Р.И. Шевченко

В работе исследована актуальная научно-практическая задача сферы гражданской защиты, а именно возможность бесперебойного функционирования систем аварийного противодействия в условиях ограниченного электроснабжения за счет использования альтернативных источников питания. В ходе решения поставленной научно-практической задачи проведен анализ современного состояния солнечных элементов для использования в качестве резервного электропитания систем аварийного противодействия. Установлено, что тонкопленочные солнечные элементы на основе теллурида кадмия (CdTe) р-типа проводимости являются перспективными солнечными элементами в условиях наземного применения. Они имеют самый высокий среди однопереходных фотоэлектрических преобразователей теоретический коэффициент полезного действия – 29%. Для установления продолжительности их использования в качестве резервного электропитания систем аварийного противодействия проведен анализ деградационной устойчивости СЭ основе теллурида кадмия (CdTe) р-типа проводимости. Путем аналитической обработки световых вольт-амперных характеристик были проанализированы выходные и световые диодные

характеристики СЭ на основе CdS / CdTe пригодных для использования в качестве источника электропитания систем аварийной противодействия. Анализ световых диодных характеристики исследуемых СЭ сначала эксплуатации улучшаются, а после 7 – 8 лет ухудшаются и возвращаются почти к своим значений в исходном состоянии. Установлено, что после 8 лет эксплуатации величина КПД СЭ SnO<sub>2</sub>: F / CdS / CdTe / Cu / ITO практически совпадает с исходным значением, что свидетельствует о высокой деградационной устойчивости полученных гетеросистем. Выявленные различия в исходных параметрах и световых диодных характеристиках СЭ SnO<sub>2</sub>: F / CdS / CdTe / Cu / ITO при освещении со стороны стеклянной подложки и со стороны прозрачного тыльной электрода, обусловлены влиянием тыльной диода на эффективность фотоэлектрических процессов в базовом слое.

**Ключевые слова:** *чрезвычайная ситуация, резервное электропитание, система аварийного противодействия, деградационная устойчивость.*

## Abstract

### **Alternative power sources and their degradation resistance in the conditions of emergency situations of technogenic character**

**T.S. Vovchuk, N.V. Deyneko, A.A. Kireev A.A. Levterov, R.I. Shevchenko**

The actual scientific and practical task of the sphere of civil protection is investigated in the work, namely the possibility of uninterrupted functioning of emergency counteraction systems in the conditions of limited power supply due to the use of alternative power sources.

In the course of solving the set scientific and practical problem, an analysis of the current state of solar cells for use as a backup power supply of emergency response systems. It was found that thin-film solar cells based on cadmium telluride (CdTe) p-type conductivity are promising solar cells in terrestrial applications. They have the highest among single-pass photoelectric converters theoretical efficiency ~ 29%.

To establish the duration of their use as a backup power supply for emergency response systems, the analysis of degradation resistance of SE based on cadmium telluride (CdTe) p-type conductivity was performed. It is established that after 8 years of operation the value of the efficiency of CE SnO<sub>2</sub>: F / CdS / CdTe / Cu / ITO almost coincides with the initial value, which indicates the high degradation resistance of the obtained heterosystems. Differences in the initial parameters and light-emitting diode characteristics of CE SnO<sub>2</sub>: F / CdS / CdTe / Cu / ITO under illumination from the glass substrate and from the transparent rear electrode, which are due to the influence of the rear diode on the efficiency of photovoltaic processes in the base layer.

**Keywords:** *emergency situation, backup power supply, emergency response system, degradation resistance.*

## **Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard**

Vovchuk, T. S. et al. (2020) 'Alternative power sources and their degradation resistance in the conditions of emergency situations of technogenic character', *Engineering of nature management*, (4(18), pp. 7 - 13.

*Подано до редакції / Received: 08.10.2020*