



Н. Ю. Соляник, О. Б. Назаровець, Ю. І. Рудик

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5850-1360> – Н. Ю. Соляник

<https://orcid.org/0000-0003-4532-9259> – О. Б. Назаровець

<https://orcid.org/0000-0002-7372-5876> – Ю. І. Рудик



o.nazarovets@ldubgd.edu.ua

ВИПРОБУВАННЯ З'ЄДНУВАЧІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ЗА ТЕРМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

Вступ. Серед альтернативних джерел електроенергії значна кількість суб'єктів господарювання обирає сонячну енергію. Причиною цього є низка факторів: автономність, ефективність, простота експлуатації та доступність. Стрімке збільшення використання фотоелектричних систем в приватному секторі українців обумовлює покращення рівня пожежної безпеки цих систем та їхніх компонентів. В групу ризику потрапляють з'єднувачі, провідники, розподільчі коробки та інвертори. З вищезгаданих компонентів фотоелектричні з'єднувачі є найбільш вразливими до імпульсних перенапруг, механічних ушкоджень та високих (низьких) температур.

Мета. Експериментальним шляхом дослідити фотоелектричний з'єднувач типу МС-4 та провідники, що з'єднуються за допомогою струмового перевантаження, на можливість виникнення короткого замикання та перевантажень, чим визначити місця підвищеної небезпеки у фотоелектричній системі.

Методи. У дослідженні використовували метод струмового перевантаження. Для цього використовували електроустановку, яка містить: автотрансформатор з регульованою напругою від 0 до 240 В; силовий трансформатор потужністю 4,5 кВА з напругою на первинній обмотці $U_1=220$ В і напругою на вторинній обмотці $U_2=5$ В; трансформатор струму типу ТК-20 з параметрами: $I_1/I_2=300/5$ А; вимірювальні прилади (амперметри, вольтметри); стіл з паранітовою плитою, на поверхню якої виведені контактні затискачі.

Результати. Отримані результати випробувань свідчать про те, що з'єднувачі постійного струму типу МС-4 різних виробників по-різному реагують на перевантаження та стрімке збільшення напруги в мережі, оскільки термічна деструкція провідників та з'єднувачів за однакових параметрів почалася в різний проміжок часу.

Висновки. У результаті дослідження визначили місця підвищеної небезпеки фотоелектричної системи саме на провідниках та з'єднаннях. Використання несертифікованого обладнання призведе до катастрофічних наслідків не лише для суб'єкта господарювання, а й для оперативно-рятувальних служб цивільного захисту.

Ключові слова. Фотоелектрика, пожежна безпека, з'єднувачі фотоелектричних систем.

N. Yu. Solyanyk, O. B. Nazarovets, Yu. I. Rudyk

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

PHOTOVOLTAIC SYSTEM CONNECTORS TESTING DYE THERMAL INDICATORS OF FIRE SAFETY

Introduction. Among alternative sources of electricity, a significant number of business entities choose solar energy, this is preceded by a number of factors: autonomy, efficiency, ease of operation and availability. The rapid increase in the use of photovoltaic systems in the private sector of Ukrainians leads to an improvement in the level of fire safety of these systems and their components. Connectors, conductors, junction boxes and inverters fall into the risk group. Of the above components, photovoltaic connectors are the most vulnerable to impulse overvoltages, mechanical damage and high (low) temperatures.

Purpose. Experimentally investigate by testing a photovoltaic connector of the MS-4 type and conductors connected using a current overload to the possibility of creating a short circuit and creating overloads, then identify weaknesses in the photovoltaic system.

Methods. The current overload method was used in the study. For this purpose, an electrical installation was used, which contains: an autotransformer with an adjustable voltage from 0 to 240 В, a power transformer with a capacity of 4.5 kVA with a voltage at the primary winding of 220 В and a voltage at the secondary winding -5 В; current transformer type ТК-20 with parameters: $I_1/I_2=300/5$ А; measuring instruments (ammeters, voltmeters); table with paranite plate on the surface of which contact clamps are brought out.

Results. The obtained test results indicate that DC connectors of the MS-4 type, depending on the manufacturer, react differently and overload and a rapid increase in voltage in the network. Since the thermal destruction of conductors and connectors under the same parameters began at different times.

Keywords. Photovoltaics, fire safety, PV connectors.

Вступ. На сьогодні серед альтернативних джерел енергії (тепла Землі, енергії вітру, припливів та відпливів, біогазу тощо) провідне місце займає сонячна енергія. Це пов'язано з головними перевагами цього виду енергії: загальна доступність, екологічність, практична невичерпність, можливість безпосереднього перетворення сонячної енергії у видимому та ближньому інфрачервоному спектрі випромінювання у теплову або електричну енергію. Повна кількість сонячної енергії, що надходить на поверхню Землі лише за тиждень, перевищує енергію всіх світових запасів нафти, газу, вугілля та урану [1]. В Україні існують достатньо сприятливі умови для використання сонячної енергії: річний технічно-досяжний енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні еквівалентний 6 млрд. тонн умовного палива, його використання дало б змогу замінити близько 5 млрд м³ природного газу [2]. Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні (1235 кВт·год/м²) є досить високим і набагато вищим, ніж, наприклад, у Німеччині – 1000 кВт·год/м² чи у Польщі – 1080 кВт·год/м² [7].

На даний час ринок пропонує велику кількість фотоелектричних систем різних виробників і тому для коректного вибору їх типу та якості необхідні прості методики та обладнання для проведення випробувань. Водночас у міжнародних нормативних документах [14, 15] передбачена трудомістка

процедура калібрування використовуваної контрольно-виміральної апаратури, що суттєво ускладнює випробування таких систем.

Актуальність теми підтверджується тим, що використання енергії сонячного випромінювання в паливно-енергетичному балансі України є важливим напрямом реалізації політики відновлення і відбудови на засадах енергозбереження і одним із пріоритетів у створенні повоєнної високоефективної, безпечної, екологічно чистої енергетики.

Постановка проблеми. На сьогодні немає підстав вважати, що ризик пожежі, пов'язаний з фотоелектричними панелями, більший, ніж той, який пов'язаний з будь-яким іншим електричним обладнанням. Але, як і багато нових технологій, фотоелектричні системи можуть створювати і нові ризики.

Проаналізувавши ринок [3, 4, 5, 6], можемо стверджувати, що найпоширенішими з'єднувачами фотоелектричних систем є MS-4 – компоненти, які широко застосовують в фотоелектричній практиці країни Євросоюзу.

MS-4 (Multi Connector 4 mm) (рис. 1) – це електричний з'єднувач з можливістю приєднати провідник діаметром 4-6 мм². Корпус цього компонента (2, 3) виготовлений з полівінілхлориду, а внутрішні елементи – контактні з'єднання (1) – з лудженої міді з вмістом міді близько 93 %.

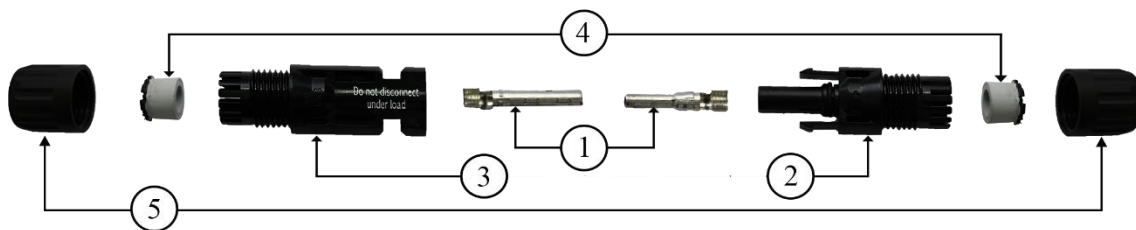


Рисунок 1 – Загальна будова з'єднувача постійного струму типу MS-4:

- 1 – контактні роз'єми; 2 – швидкознімна гніздова частина з'єднувача;
- 3 – швидкознімна штекерна частина з'єднувача; 4 – гумово-пластикові ущільнювачі;
- 5 – затискачі-ущільнювачі

Найбільшою небезпекою цих систем є аварійний режим роботи: виникнення струмових перевантажень (коротке замикання або перевантаження) внаслідок чого, елементи, виготовлені з полівінілхлориду, розплавляються – можливе роз'єднання контакту. При цьому є ризик загорання суміжних конструктивних елементів будівлі, а саме: покрівлі (що може спричинити розповсюдження пожежі горищем та конструктивними елементами будівлі) та компонентів системи, що перебувають під

напругою. Зазначимо, що це становить додаткову небезпеку під час ліквідації наслідків надзвичайної події або ситуації для працівників оперативно-рятувальних служб цивільного захисту.

Окрім з'єднувачів фотоелектрична система створює додаткове пожежне навантаження через низку обладнання, яке входить до цих систем. Зокрема це: розподільчі коробки, кабельна продукція, вимикачі струму, інвертори та самі фотоелектричні панелі.

Важливим аспектом у цій проблемі є некваліфі-

ване підключення фотоелектричних систем в приватному секторі (коли нехтують правилами з'єднання панелей різної потужності, а також використанням з'єднувачів різних виробників, що може спричинити зростання перехідних опорів і навіть замикання фотоелектричної системи, а також позарегламентний режим роботи системи), що призводить до загорання та пожеж. Якщо фотоелектричні системи розміщуються на землі (за допомогою певних конструкцій) слід доглядати за ділянкою, щоб убезпечити її від захарщення, а також враховувати межу вогнестійкості матеріалу, з якого виготовлено ці конструкції. Необхідно захистити систему від механічних та природних ушкоджень, оскільки внаслідок цього можливе утворення «гарячих тріщин», що створюватиме ризик ураження струмом суб'єктів господарювання та працівників оперативно-рятувальних служб цивільного захисту.

При розміщенні фотоелектричних систем на фасаді будинку слід забезпечити покриття стін негорючими матеріалами оздоблення, щоб унеможливити поширення полум'я по конструктивних елементах будинку. Якщо фотоелектрична система розміщується на покрівлі, необхідно врахувати протипожежні відстані, відповідно до ІЕС 60364 [7]. Це знизить ризики для рятувальних служб, дасть змогу безпечно піднятися до осередку пожежі на покрівлі та переміщення рятувальників. Також потрібно забезпечити негорюче покриття,

розташоване поряд із системою, щоб зменшити ризик поширення пожежі по покрівлі та конструктивних елементах будівлі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень в галузі безпеки фотоелектричних систем дає змогу оцінити пожежну небезпеку з'єднань різних типів з'єднувачів [8], запобігання пожежам на фотоелектричних системах шляхом моніторингу та огляду систем за допомогою тепловізора та програмного забезпечення, що за лічені секунди вказує місце несправності системи [9-11]. Дослідження [12] – це правила безпеки праці та правила пожежної безпеки фотоелектричних систем. Досліджено та визначено причини займання та перенавантаження розподільчих коробок, що використовуються в фотоелектричних системах, а також досліджено залежність матеріалу, що знаходиться під системами, до швидкості розповсюдження пожежі від займання компонентів системи [13].

Мета. Експериментальним шляхом дослідити фотоелектричний з'єднувач типу МС-4 та провідники, що з'єднуються, за допомогою струмового перевантаження на можливість утворення короткого замикання та створення перенавантажень, чим визначити втрату цілісності ізоляційних матеріалів фотоелектричних систем.

Методи. У дослідженні використовували метод струмового перенавантаження. Для цього використовувалась електроустановка (рис. 2).

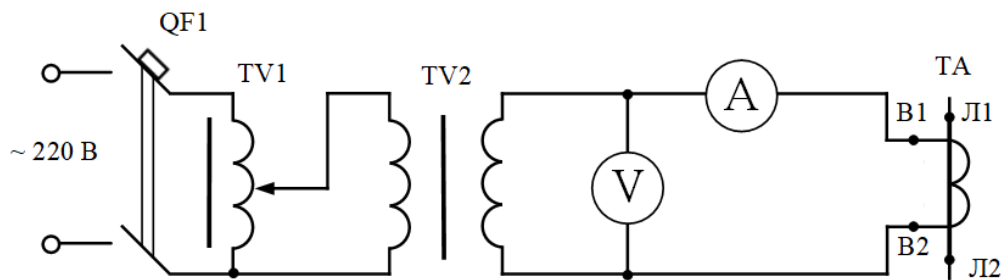


Рисунок 2 – Схема лабораторної установки

Для дослідження поведінки з'єднувачів та провідників створювали довготривале струмове перевантаження, використовували електроустановку, яка містить: автотрансформатор (TV1) з регульованою напругою від 0 до 240 В; силовий трансформатор (TV2) потужністю 4,5 кВА з напругою на первинній обмотці $U_n=220$ В і напругою на вторинній обмотці $U_v=5$ В; трансформатор струму (ТА) типу ТК-20 з параметрами: $I_1/I_2=300/5$ А; вимірювальні прилади (амперметри, вольтметри); стіл з паронітовою плитою на поверхні якої виведені контактні затискачі. Вимірювання температури відбувалося

за допомогою термопар з перетворювачем типу РТ-0102 та тепловізора марки FLIR K2.

Виклад основного матеріалу. У провіднику створювали струмові навантаження фіксували, час, значення температури та сили струму з'єднувача та провідника. Значення напруги та сили струму фіксувалися за допомогою вольтметра та амперметра, ввімкнених у схему лабораторної установки, а температури – за допомогою тепловізора та термопар. Гарячий спай термопар фіксували на поверхні контактної з'єднувача для отримання значень температури зовнішньої шару з'єднувача (ізоляції) [16, 17].

Щоб побачити наскільки впливає провідник на з'єднувач до швидкознімної гніздової частини приєднали провідник, який позиціонується на ринку, як кабель для з'єднань фотоелектричних систем (виконаний з лудженої міді, в якості ізоляції – полівінілхлорид), а до швидкознімної штекерної частини приєднали провідник вітчизняного зразка. В ході проведення досліду, поступово навантажували з'єднувальну ділянку за допомогою лабораторної установки. Змінювали параметри навантаження ділянки з'єднання частин фотоелектричної системи за

допомогою автотрансформатора TV1 (рис. 2).

Експериментальні значення сили струму, обумовлені допустимими струмами для провідників певного перерізу, згідно з ПУЕ [3] табл. 1.3.4. імітувалось 2, 3 та 4-кратне струмове перевантаження.

Сила струму, який протікав по провіднику, становила 150 А, напруга – 40 В. При таких параметрах навантажували провідник зі з'єднувачем протягом 20 хв. Залежність температури T від часу t в місці контакту провідників, розміщених у з'єднувачі, зображена на рисунку 3.

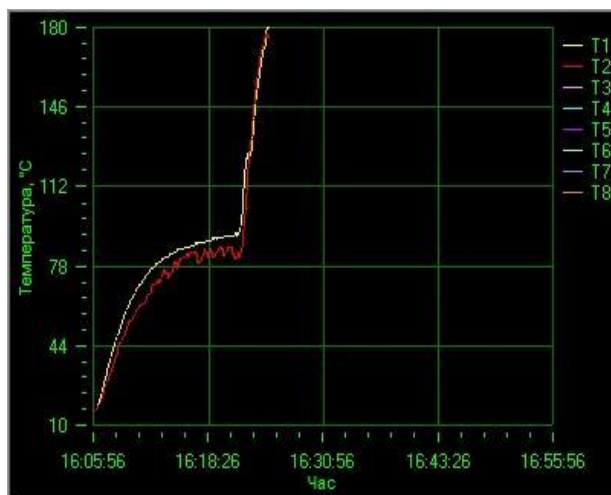


Рисунок 3 – Залежність температури T від часу t .

Починаючи з 20 хв ампервольтметр показав, що сила струму, що протікає по провіднику, становить 170 А, а напруга 105 В.

Результати вимірювань термопарами зафіксовано за допомогою тепловізора (рис. 4) – 424 °С.



Рисунок 4 – Максимальна температура T на провіднику

При цих параметрах в зоні з'єднувача почався процес незворотного термічного розкладання та зуглення ізоляції. Впродовж наступних трьох хвилин в ізоляційних матеріалах провідників відбувалися процеси необоротного термічного розкладання та зуглення, а жила втратила

цілісність (рис. 5 b, c). Сам з'єднувач при навантаженні струмом силою 150 А при значенні напруги 40 В та температурі на поверхні з'єднувача 85 °С впродовж 23 хв, цілісності та ізоляції не втратив, але наявні ознаки необоротного термічного розкладання з'єднувача (рис. 5 a).

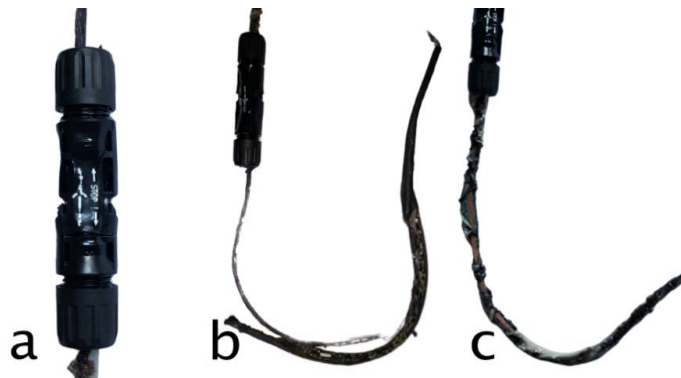


Рисунок 5 – Вигляд зразків після проведення випробувань:
 а) з'єднувач фотоелектричний типу МС-4 після проведення випробування;
 б) кабель для з'єднань фотоелектричних систем після проведення випробування;
 с) кабель вітчизняного зразка після проведення випробування

При проведенні повторного випробування використовували ідентичну схему підключення. При цьому стрімко збільшували силу струму та напругу. Це дало змогу побачити, як поводить себе з'єднувач та провідник при стрибках напруги. Жила кабелю на момент росту параметрів втратила цілісність (рис. 6) в результаті струмового перевантаження, що не дало змоги продовжувати збільшувати силу струму на з'єднувачі, частина

провідника залишилась без ізоляції через плавлення внутрішнього шару ізоляції що призвело до інтенсивного димоутворення.

Оскільки в дослідженні використовували два зразки різних виробників, то повторили такі ж умови, що і в дослідях №1 та №2, врахувавши при цьому площу поперечного перерізу провідника, та замінили кабель площею перерізу 4 мм² на мідний провідник площею поперечного перерізу 6 мм².

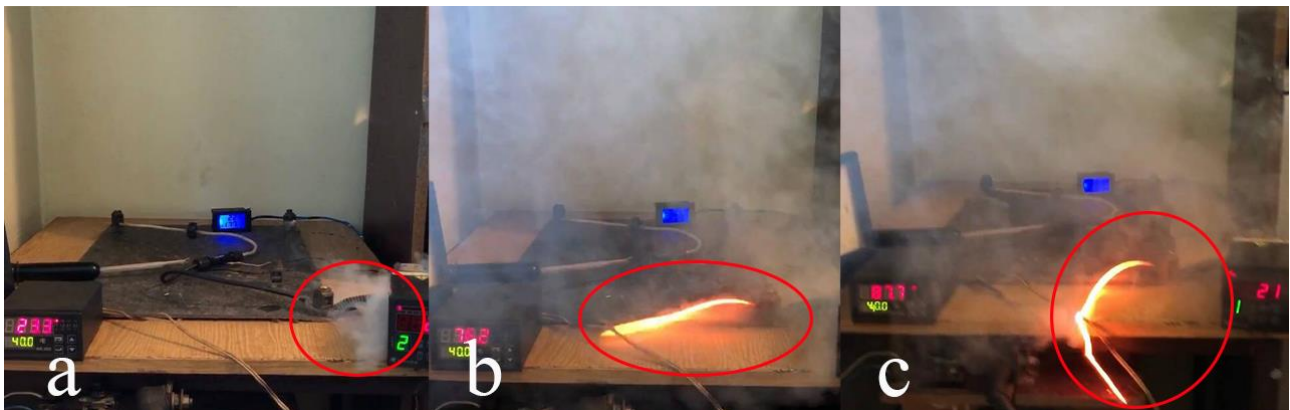


Рисунок 6 – Момент втрати цілісності внаслідок короткого замикання провідника для з'єднання фотоелектричних систем

Важливо звернути увагу на те, що від площі поперечного перерізу провідника залежать, як ризики утворення загорання (пожежі), так і швидкість приведення системи до нормального режиму роботи після пошкодження провідника або короткого замикання.

В досліді №3, окрім заміни провідників замінили також з'єднувачі одного виробника на з'єднувачі іншого, зовнішніх відмінних ознак та характеристик не виявлено, проте ціна з'єднувачів, що використовувались в дослідях №1, №2 в два рази більша від тих, що використовували у дослідях №3 та №4. Відповідно до параметрів поперечних перерізів провідників обираємо допустимі параметри сили

струму за допомогою таблиць з ПУЕ [3]. Впродовж 37 хв здійснили трикратне перенавантаження шляхом створення на автотрансформаторі відповідної сили струму. Протягом 35 хв сила струму, що протікала провідником та з'єднанням, становила 110 А, на 35 хв змінили параметри на автотрансформаторі. Станом на 36 хв сила струму становила 160 А.

До 35 хв значних термічних деструкцій не виявлено, незначні плавлення спостерігались на провідниках в зоні контакту зі з'єднувачем. На з'єднувачі в цьому проміжку часу були ознаки плавлення і втрати початкової форми. Максимальна температура в місці з'єднання становила 176 °С (рис. 7).

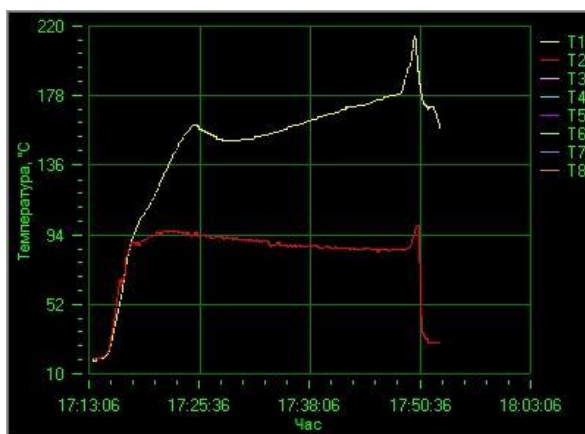


Рисунок 7 – Залежність температури T від часу t

Починаючи з 35 хвилини температура стрімко змінила свої значення і досягла максимальних значень на 36 хв – 219 °С.

Димоутворення провідників та з'єднувача спостерігалось з 5 хв проведення дослідів, але воно було незначним, на 35 хв інтенсивність димоутворення збільшилась через термічну

деструкцію ізоляції провідників та з'єднання. Дослід завершено на стадії втрати цілісності з'єднувача та ізоляції провідників.

Якщо в дослідах №1 та №2 з'єднувач витримав струмове перенавантаження, то з'єднувач, що використовувався в досліді №3, втратив ізоляційну цілісність (рис. 8).



Рисунок 8 – Провідник(а) та з'єднання типу MC-4(б) після проведення випробування

Повторення дослідів із зразком з'єднувача, що використовувався у досліді №3, використовуючи при цьому ідентичну схему підключення, дало змогу зафіксувати

найвищу температуру (рис. 9). Дослід проводили 23 хвилини. У період з 1 по 20 хв, сила струму, що протікав по провіднику та з'єднувачу, становила 144 А.

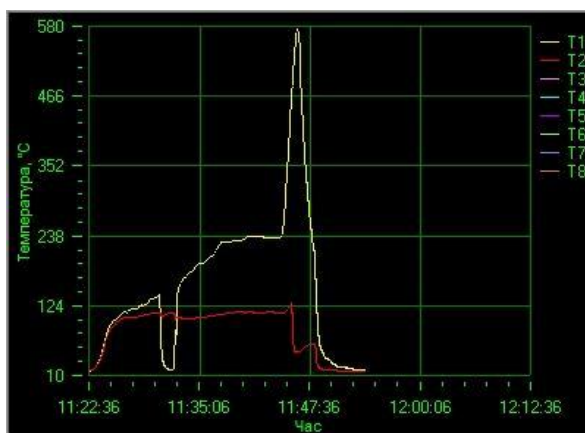


Рисунок 9 – Залежність температури T від часу t .

Протягом цього часу максимальна температура з'єднувача становила 238 °С (рис. 9). Корпус з'єднувача в зоні контакту провідників втратив ізоляційну цілісність, почалось необоротне термічне розкладання та обуглення ізоляційних матеріалів; з 5-ї хвилини розпочалось незначне димоутворення.

На 20-ту хвилину змінили параметри сили струму на автотрансформаторі до значення 166 А. Наступні 3 хвилини супроводжувалися високою температурою – 580 °С (рис. 9) та значним

димоутворенням. Внаслідок цього, з'єднувач втратив цілісність ізоляції, що спостерігали на попередньому етапі, збільшив зону термічної деструкції, це призвело до остаточного плавлення ізоляції в зоні з'єднання (рис. 11). Провідники в цей період остаточно втратили цілісність ізоляції, що супроводжувалося інтенсивним димоутворенням.

Впродовж всього випробування з'єднувач та провідники були нагріті приблизно до однакової температури, про що свідчить запис вимірювань тепловізором (рис. 10).

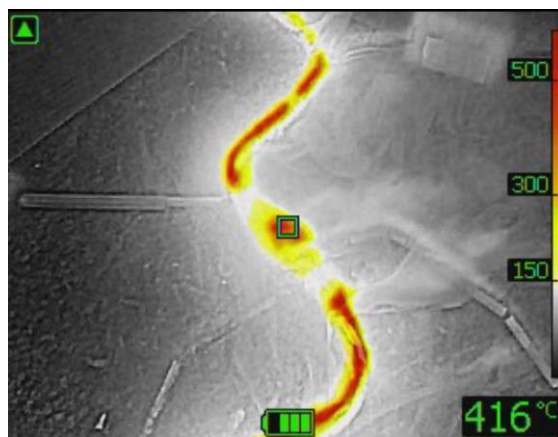


Рисунок 10 – З'єднувач та провідники на 22 хв випробування, сила струму становить 166 А

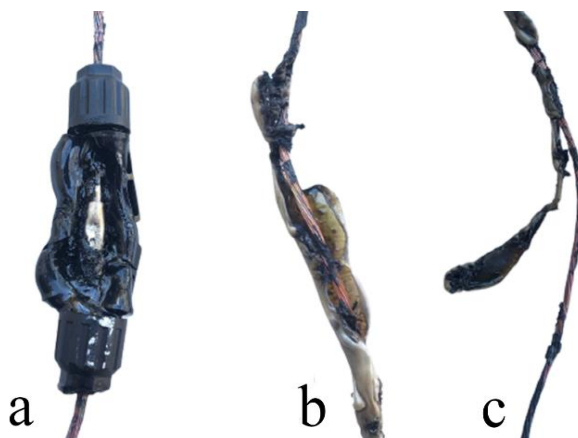


Рисунок 11 – З'єднувач (а) та провідники (b),(c) після випробування

Варто зазначити, що з'єднувачі, що використовувалися у дослідях №1 та №2 більш стійкіші до струмових перевантажень порівняно з тими, що використовувались в дослідях №3, №4, оскільки №1 та 2 значних деформацій та втрати початкової форми не мають.

Висновки. Розглянуто стан та напрямки досліджень обладнання, яке використовується для фотоелектричних систем, визначено вплив показників струмових перевантажень і температури на стан безпеки експлуатації фотоелектричних систем. Провівши дослідження визначили місця фотоелектричної системи, які найчутливіші до термічної дії струмів короткого замикання, а саме на

контактних з'єднаннях та провідниках. Використання несертифікованого обладнання призведе до збільшення ризиків виникнення аварійних ситуацій та підвищення рівня небезпеки не лише суб'єкта господарювання, а й для оперативно-рятувальних служб цивільного захисту. Також покращить практичне застосування результатів використаної методики вимірювання параметрів та визначення теплотехнічної ефективності з'єднувачів кабельних ліній фотоелектричних систем під час експлуатації. Перспективним є також подальше дослідження вогнестійкості та інших показників пожежної безпеки фотоелектричних систем при експлуатації.

Подяка. Робота виконана завдяки грантовій підтримки Національного Фонду Досліджень України, реєстраційний номер проєкту 0123U103529 (2022.01/0009) «Оцінювання та прогнозування загроз відбудові та сталому функціонуванню об'єктів критичної інфраструктури» за конкурсом «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди».

Список літератури:

1. Малєєв В. О., Безпальченко В. М., Макачук Д. С. Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні. Актуальні проблеми сучасної енергетики: матеріали II-ої Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, аспірантів і молодих вчених. Херсон : ХНТУ, 2017. С. 74–70.

2. Дробишева В. П., Токар К. П., Федоренко Г. А. Сучасний стан використання відновлювальних джерел енергії в Україні. Науковий вісник будівництва. 2014. № 1. С. 165-168.

3. Georgette Kilgore «10 Solar Panel Connector Types Ranked, When to Use Each (And When Not To).» URL: 8billiontrees.com/solar-panels/solar-panel-connector-types/

4. Василюха Х. В. Вдосконалення нормативно-технічної бази випробувань сонячних перетворювачів : дис. канд. техн. наук : 05.01.02 / Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2017. 170 с.

5. Serkez Kh., Yatsuk V., Mykyjchuk M., Dyak R., Oleskiv T. Metrological assurance of the sun energy collector testing. Pomiary, Automatyka, Kontrola. Vol. 59. Nr 9. 2013. P. 901-905.

6. IEC 60364 DIN VDE 0100 Erection of low-voltage installations Design, connection and components of lowvoltage systems, protective measures.

7. Todd Karin, David Penalva, James Nagel. The Ultimate Safety Guide for Solar PV Connectors. An In-Depth Primer with Best Practices for Solar Professionals and Asset Owners PV Evolution Labs (PVEL)/ 2022

8. Steve Pester, principal consultant, BRE National Solar Centre. Fire and Solar PV Systems – Investigations and Evidence/ SICE, BEIS Date: 11th May 2018 Report Number: P100874-1004 Issue 2.5

9. ДСТУ EN IEC 61730-2:2018. Визначення безпеки фотоелектричних модулів. Частина 2. Вимоги до випробувань (EN IEC 61730-2:2018; AC:2018-06, IDT; IEC 61730-2:2016, IDT) [Чинний від 2021-12-21]. Вид. офіц. Київ, 2021. 106 с.

10. Steve Pester, principal consultant, BRE National Solar Centre. Fire and Solar PV Systems – Recommendations for the Fire and Rescue Services. BEIS Date: 15th May 2017 Report Number: P100874-1008 Issue 2.4

11. International energy agency photovoltaic power systems programme Task 13 Performance,

Operation and Reliability of Photovoltaic Systems Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates Report IEA-PVPS T13-25:2022 October 2022

12. Deutscher feuerwehr verband «Einsatz an Photovoltaikanlagen» Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten. 2010. p. 3-15.

13. Mykyichuk, M., & Rudyk, Y. Material testing and results estimation by safety indexes. Вимірювальна техніка та метрологія, 2021. 82(2). 38-45.

14. GUIDELINE Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization Project Sponsor Dr.-Ing. Klaus Prume, Project Sponsor Jülich Dipl.-Ing. Jochen Viehweg, Project Sponsor Jülich

15. Rudyk Y. and Shunkin V. Determination of the quantity of combustible material in cable products in the process of fire safety testing. Fire Safety, no. 34, pp. 78-83, Jul. 2019.

16. Гудим В. І., Юрків Б. М. Назаровець О. Б. Математичне моделювання процесів нагрівання провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель Пожежна безпека. № 26. Львів, 2015. С. 59–64

References:

1. Maleev V. O., Bezpachenko V. M., Makarchuk D. S. (2017). Prospects for the development of solar energy in Ukraine. Current problems of modern energy: materials of the II All-Ukrainian scientific and practical Internet conference of students, postgraduates and young scientists, graduate students and young scientists. pp. 74–70.

2. Drobysheva V. P., Tokar K. P., Fedorenko G. A. (2014). Current state of use of renewable energy sources in Ukraine. Scientific Bulletin of Construction. 2014. No. 1. pp. 165-168.

3. Georgette Kilgore 10 Solar Panel Connector Types Ranked, When to Use Each (And When Not To). URL: 8billiontrees.com/solar-panels/solar-panel-connector-types/

4. Vasylykha Kh. V. (2017). Improvement of the regulatory and technical base for testing solar converters. Lviv Polytechnic National University Lviv, Ukraine.

5. Serkez Kh., Yatsuk V., Mykyjchuk M., Dyak R., Oleskiv T. Metrological assurance of the sun energy collector testing. Pomiary, Automatyka, Kontrola. Vol. 59. Nr 9/2013. pp. 901-905.

6. IEC 60364 DIN VDE 0100 Erection of low-voltage installations Design, connection and components of lowvoltage systems, protective measures.

7. Todd Karin, David Penalva, James Nagel, (2022). The Ultimate Safety Guide for Solar PV Connectors. An In-Depth Primer with Best Practices for Solar Professionals and Asset Owners PV Evolution Labs (PVEL), 2022

8. Steve Pester. (2018). Principal consultant, BRE

National Solar Centre Fire and Solar PV Systems – Investigations and Evidence» SICE, BEIS Date: 11th May 2018 Report Number: P100874-1004 Issue 2.5

9. DSTU EN IEC 61730-2:2018. Determination of safety of photovoltaic modules. Part 2. Test requirements (EN IEC 61730-2:2018; AC:2018-06, IDT; IEC 61730-2:2016, IDT).

10. Steve Pester. (2017). Principal Consultant, BRE National Solar Centre Fire and Solar PV Systems – Recommendations for the Fire and Rescue Services. BEIS Date: 15th May 2017 Report Number: P100874-1008 Issue 2.4

11. International energy agency photovoltaic power systems programme Task 13 Performance, Operation and Reliability of Photovoltaic Systems Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates Report IEA-PVPS T13-25:2022 October 2022

12. Deutscher feuerwehr verband. (2010). Einsatz

an Photovoltaikanlagen» Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten. pp. 3-15.

13. Mykyichuk M., Rudyk Y. (2021). Material testing and results estimation by safety indexes. Measuring technique and metrology. 82(2). 38-45.

14. GUIDELINE Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization Project Sponsor Dr.-Ing. Klaus Prume, Project Sponsor Jülich Dipl.-Ing. Jochen Viehweg, Project Sponsor Jülich

15. Rudyk Y. and Shunkin V. (2019). Determination of the quantity of combustible material in cable products in the process of fire safety testing”, Fire Safety, vol. 34, pp. 78-83.

16. Hudym V. I., Yurkiv B. M., Nazarovets O. B. (2015). Mathematical modeling of heating processes in conductors of in-ternal electrical networks in housing and public buildings Fire Safety: vol. 26. pp. 59–64.

© Н. Ю. Соляник, О. Б. Назаровець,
Ю. І. Рудик, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 10.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.