

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. Академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. (056) 793-19-11, ел. пошта: [vkuz@i.ua](mailto:vkuz@i.ua), [berserksamurai@yandex.ru](mailto:berserksamurai@yandex.ru), ORCID: [orcid.org/0000-0003-4165-1056](http://orcid.org/0000-0003-4165-1056)

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ В УНІВЕРСИТЕТІ

### Вступ

Зниження викидів парникових газів та забруднюючих речовин у сучасному глобальному контексті взаємодії енергетичних підприємств та навколишнього середовища являється першочерговою метою в більшості країн. Вирішення даної задачі може бути досягнуто в значному ступені використанням альтернативних та поновлюваних джерел енергії. Сонце, безумовно, є високим потенційним джерелом для відновлюваних джерел енергії. Величина сонячної енергії, яка досягає земної кулі величезна, приблизно в 10 тисяч разів більше енергії, що використовується по всьому світу [1]. Серед різних систем, що використовують поновлювані джерела енергії, фотоелектричні системи є найбільш перспективними. Вони потребують порівняно незначні кошти на технічне обслуговування, являються надійними, безшумними, простими з точки зору монтажу.

Перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію може відбуватись двома основними методами – фототермічним та фотоелектричним. [2]. Згідно досліджень Європейської асоціації фотоелектричної промисловості (EPIA) сонячна енергетика в недалекому майбутньому витісне нафту та атомну енергетику. Європейський Союз сьогодні інтенсивно використовує сонячні фотоелектричні станції. Сучасні фотоелектричні системи складаються з декількох елементів: кабелі, підтримуюча структура і, в залежності від типу системи, електронний інвертор і контролер заряду з акумуляторною батареєю. Така система в цілому називається сонячною фотоелектричною системою, або сонячною станцією. Є три основних типи фотоелектричних систем:

- автономні системи;
- системи, сполучені з електричною мережею;
- гібридні системи.

В даній статті аналізуються перспективи використання фотоелектричної станції в ДПТі.

### Моделювання кіл, що містять фотоелектричні ланцюги

Фотогальванічний ланцюг може розглядатися як генератор струму і може бути представлена еквівалентною схемою на рис. 1. Струм  $I$  на вихідних клеммах дорівнює струму, що генерується через фотоелектричний ефект  $I_g$  генератором ідеального струму, зменшеним на струм діода  $I_d$  і струм витоку  $I_l$ . Ряд опорів  $R_s$  представляє внутрішній опір потоку, що генерується струму і залежить від товщини стику P-N, від присутніх домішок і від контактних опорів. Провідність витоку  $G_l$  враховує струм в землю при нормальних умовах експлуатації. В ідеальній системі ми мали б  $R_s = 0$  і  $G_l = 0$ . В високоякісному кремнієвому осередку  $R_s = 0,05 \div 0,10$  Ом і  $G_l = 3 \div 5$  мСм [1,11-13].

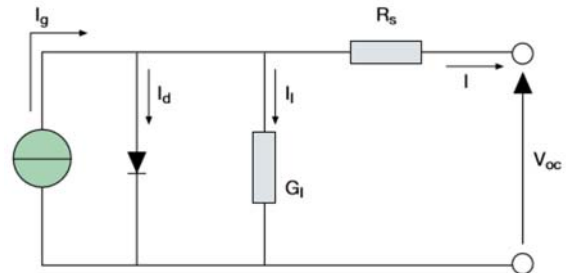


Рис. 1. Схема заміщення фотоелектричної панелі

Напруга холостого ходу  $V_{oc}$  виникає, коли відсутній струм навантаження ( $I = 0$ ) і визначається зі співвідношення (1):

$$V_{oc} = \frac{I_l}{G_l} \quad (1)$$

Діодний струм задається класичною формулою для постійного струму:

$$I_d = I_D \cdot \left[ e^{\frac{Q V_{oc}}{A k T}} - 1 \right], \quad (2)$$

де:

- $I_D$  - струм насичення діоду;
- $Q$  - заряд електрона;

–  $A$  - коефіцієнт ідентичності діода, який залежить від коефіцієнтів рекомбінації всередині самого діода (для кристалічного кремнію - близько 2);

–  $k$  – постійна Больцмана;

–  $T$  - абсолютна температура в градусах К

Тоді струм, що подається на навантаження, визначається як:

$$I = I_g - I_d - I_l = I_g - I_D \cdot \left[ e^{\frac{Q \cdot V_{oc}}{A \cdot k \cdot T}} - 1 \right] - G_l \cdot V_{oc} \quad (3)$$

У звичайних ланцюгах останній член цієї формули, тобто струм витоку на землю  $I_l$ , є незначним по відношенню до двох інших струмів.

Вольтамперна характеристика фотоелектричного модуля показана на рис.2. В умовах короткого замикання генерований струм є найвищим ( $I_{sc}$ ), тоді як при розімкнутому ланцюзі напруга ( $V_{oc}$  = напруга розімкнутого ланцюга) знаходиться на найвищому рівні. При двох перерахованих вище умовах електрична потужність, створювана в ланцюгу, дорівнює нулю, тоді як при всіх інших умовах, коли напруга зростає, вироблена потужність теж зростає: спочатку вона досягає максимальної точки потужності ( $P_m$ ), а потім різко падає і наближається до значення напруги розімкнутого ланцюга.

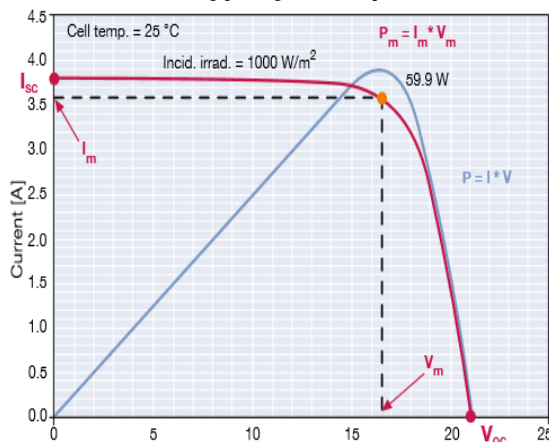


Рис. 2. Вольтамперна характеристика фотоелектричного модуля [1]

Існують наступні параметри фотоелектричного модуля:

–  $I_{sc}$  струм короткого замикання;

–  $V_{oc}$  напруга розімкнутого ланцюга;

–  $P_m$  максимальна вироблена потужність при стандартних умовах (STC);

–  $I_m$  струм, створюваний в точці максимальної потужності;

–  $V_m$  напруга в точці максимальної потужності;

– FF фактор заповнення. Це параметр, який визначає форму характеристичної кривої V-I, і це відношення між максимальною потужністю і добутком ( $V_{oc} \cdot I_{sc}$ ) напруги холостого ходу та струму короткого замикання.

### Очікуване виробництво електричної енергії в рік

З енергетичної точки зору, конструкцію фотоелектричного генератора приймають такою, що максимізує поглинання наявного річного сонячного випромінювання. Обсяги електроенергії, які фотоелектрична установка може виробляти на рік, залежать від наступних факторів:

– наявність сонячного випромінювання;

– орієнтація і нахил модулів;

– ККД фотоелектричної установки

Виходячи з того факту, що сонячне випромінювання є змінним, для визначення обсягів електричної енергії, яку станція може генерувати в фіксованому часовому інтервалі, береться до уваги той факт, що характеристики модулів повинні бути пропорційні сонячному випромінюванню. В Україні та Європейському Союзі існують карти сонячної активності.

В табл. 1 наведені значення середньорічної сонячної радіації на горизонтальній поверхні в Україні [кВт.год / м<sup>2</sup>] відповідно до UNI 10349, а середнє добове значення за місяць [кВт.год / м<sup>2</sup> / день] відповідно до ENEA. На рис.3 приведено карту сонячної активності в Україні. На основі середньорічної величини сонячної радіації  $E_{ma}$ , можна отримати очікувану генеровану енергію  $E_p$  за рік на основі (4):

$$E_p = E_{ma} \cdot \eta_{BOS} \quad (4)$$

де  $\eta_{BOS}$  – загальна ефективність усіх компонентів фотоелектричного обладнання на стороні навантаження модулів (інвертор, з'єднання, втрати внаслідок температурного ефекту, втрати через асиметрію в характеристиках, втрати через затінення і т.д.). Середня ефективність на станції, правильно спроектованій і змонтованій, може становити від 0,75 до 0,85 [3].

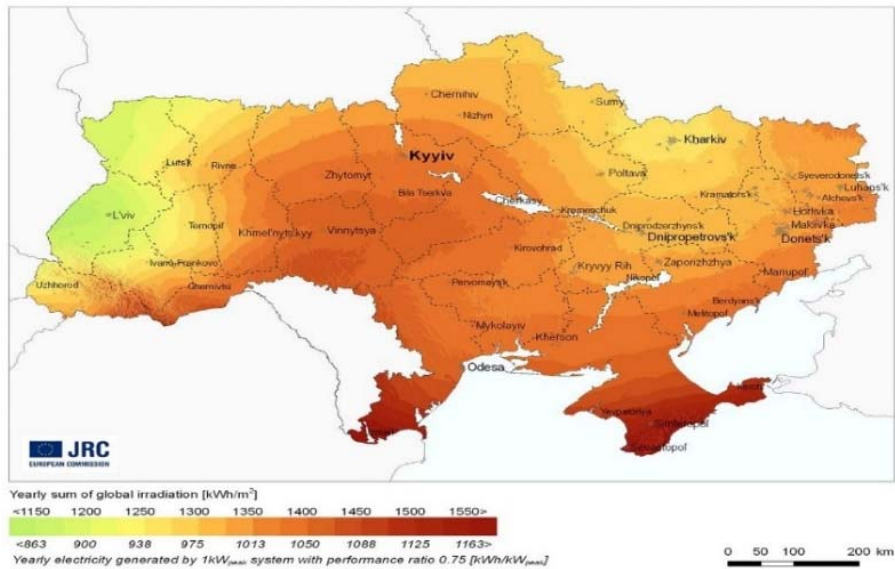


Рис. 3. Карта сонячної активності в Україні

Таблиця 1

Середній місячний рівень сонячної радіації (сонячна постійна) в містах України  
(кВт.год / м<sup>2</sup> / день). Середній показник за останні 22 роки:

Регіон / Місяць	січ	лют	бер	квіт	трав	черв	лип	серп	верес	жовт	лист	груд	Середн
Сімферополь	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	<b>3,58</b>
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	<b>3,11</b>
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	<b>2,99</b>
Дніпро	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	<b>3,36</b>
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	<b>3,34</b>
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	<b>3,04</b>
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	<b>3,16</b>
Запоріжжя	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	<b>3,44</b>
Івано-Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	<b>2,94</b>
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	<b>3,10</b>
Кіровоград	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	<b>3,30</b>
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	<b>3,34</b>
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	<b>2,92</b>
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	<b>3,55</b>
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	<b>3,55</b>
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	<b>3,25</b>
Рівне	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	<b>3,01</b>
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	<b>3,16</b>
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	<b>2,99</b>
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	<b>3,26</b>
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	<b>3,55</b>
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	<b>3,06</b>
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	<b>3,24</b>
Чернігів	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	<b>3,03</b>
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	<b>2,94</b>

© Кузнецов В. Г., Анікеєв І. Л., 2017

З іншого боку, беручи до уваги середню добу інсоляцію  $E_{mg}$ , для розрахунку очікуваної виробленої енергії в рік для кожного кВт·пік можна використовувати наступний вираз:

$$E_p = E_{mg} \cdot 365 \cdot \eta_{BOS} \cdot \kappa_{Bm} \cdot \text{год} / \kappa_{Bm} \cdot \text{пік} \quad (5)$$

У великогабаритних установках, фотоелектричне поле, як правило, поділено на декілька частин (підполя), кожна з яких обслуговується власним інвертором, в якій різні рядки фотоелементів підключені паралельно. В цьому випадку зменшується необхідна кількість інверторів, і як наслідок скорочуються інвестиційні витрати і витрати на технічне обслуговування. Бажано, щоб кожен рядок фотоелементів мав можливість підключатись і відключатись окремо, для того щоб необхідні операції з обслуговування, перевірки проводились без виведення з сервісу всього фотоелектричного генератора.

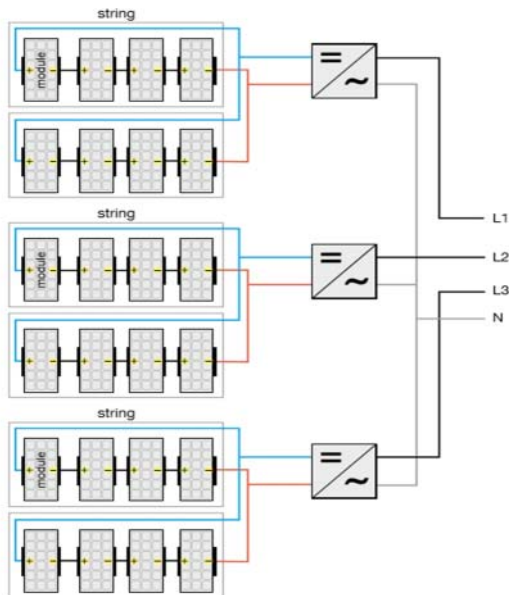


Рис. 4. Багатоінверторна схема

Для сонячної фотоелектричної станції в університеті використовуємо 3-фазний мережевий інвертор ABB TRIO-50.0-TL-OUTD [4]. Цей сонячний інвертор сумісний з системами віддаленого моніторингу та управління, просто монтується, має високу продуктивність і ККД на рівні 98%.

Інвертор ABB TRIO-50.0-TL-OUTD сумісний із зовнішніми датчиками стану навколишнього середовища, до нього можуть бути підключені модулі дротового і бездротового моніторингу, за роботою фотоелектричних станцій на основі цього інвертора можна стежити через інтернет, як на екрані комп'ютера, так і зі смартфона. В якості захисту виступає вимикач постійного струму.

© Кузнецов В. Г., Анікеєв І. Л., 2017

## Розрахунок площі сонячної батареї

Розглянемо варіант розміщення фотоелектричної станції на даху старого навчального корпусу ДІТУ. План стріхи старого навчального корпусу наведено на рис. 5. Площа складає  $S=7537 \text{ м}^2$ .

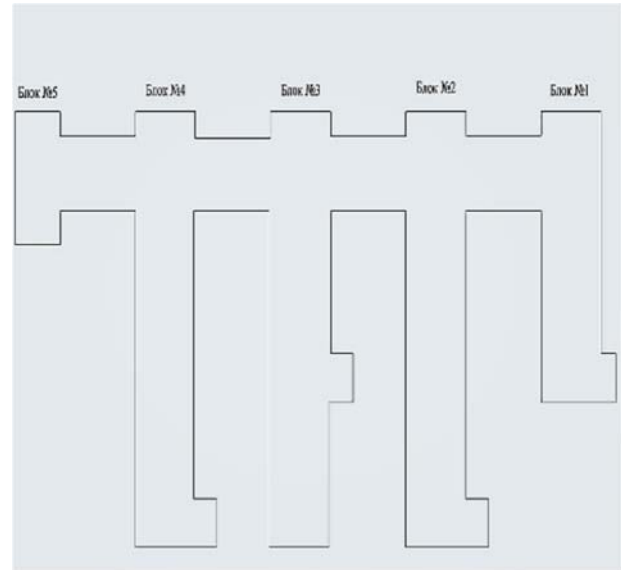


Рис. 5. План стріхи старого навчального корпусу

Для розрахунку станції були обрані монокристалічні фотомодулі ABi-Solar(M60275-D), кількістю 2700 одиниць (без урахування ваги панелей), акумуляторні батареї Challenger G12-260, та встановлено два 3-фазних мережевих інвертори ABB-TRIO-50.0-TL-OUTD потужністю 50кВт та повний комплект захисної автоматики.

Технічні характеристики цих фотодомулей наведені в табл.2 та в табл.3 [5]

Таблиця 2

### Механічні характеристики

Тип комірки	Монокристал $156 \times 156 \text{ мм}$
Кількість комірок	60 (6·10)
Розміри (Довжина/Висота/Ширина)	$1640 \times 991 \times 35 \text{ мм}$
Вага	19 кг
Переднє скло	3,2 мм загартоване з низьким вмістом заліза
Рама	Анодований алюміній
Розподільча коробка	IP67 з bypass-діодами
З'єднувачі	MC4-сумісні
Кабелі підключення	TUV, довжина 900мм, $4.0 \text{ мм}^2$

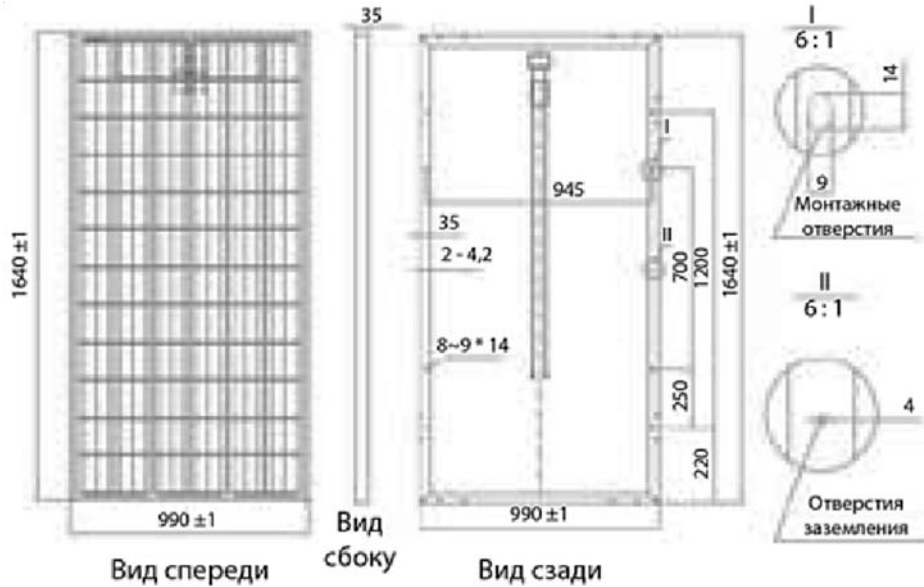


Рис. 6. Схема та розміри фотомодулей AVi-Solar(M60275-D)

Таблиця 3

## Електричні характеристики

Параметри	Стандартні умови випробувань
Потужність МРРТ ( $P_{max}$ )	275 Вт
Струм короткого замикання ( $I_{sc}$ )	9,36 А
Напруга холостого ходу ( $V_{oc}$ )	38,6 В
Струм при максимальній потужності МРРТ ( $I_{mp}$ )	8,91 А
Напруга при максимальній потужності МРРТ $V_{mp}$	30,9 В
ККД- $\eta$	16,92 %
Допустиме відхилення	0~+5 Вт

Інсоляція при стандартних умовах випробувань:  $1000 \text{ Вт/м}^2$  температура модуля:  $+25^\circ\text{C}$ ,  $AM=1,5$

Для прогнозування електричного навантаження взяті дані енергетичного аудиту університету, який проводиться щорічно підрозділами АГЧ, кафедрами «Інтелектуальні системи електроспоживання» та «Теплотехніка» [6-10]. За даними енергоаудиту електроспоживачі, розташовані в старому навчальному корпусі споживають щорічно близько  $1000000 \text{ кВт}\cdot\text{год}$  електроенергії

Виходячи з сумарної споживаної електроенергії визначемо середню потужність:

$$P_{год} = \frac{W_{\Sigma}}{8760} = \frac{1000000}{8760} = 114,2 \text{ кВт} \quad (5)$$

Середнє споживання електроенергії споживачами старого навчального корпусу за добу:

$$W_{доба} = P_{год} \cdot 10 = 114,2 \cdot 10 = 1142 \text{ кВт}\cdot\text{год} \quad (6)$$

Середня питома потужність фотомодуля:

$$P_{ФМ} = P_{max} \cdot t_{день} / (t_{день} + t_{ніч}) = 275 \cdot 12 / 24 = 137,5 \text{ Вт/м}^2 \quad (7)$$

де  $t_{день}$  та  $t_{ніч}$  - розрахункові тривалості денного та нічного періодів (приймаються 12 год. для попередніх розрахунків),

$P_{max}$  - максимальна потужність фотомодулю.

Розрахуємо площу підстанції, яку необхідно виділити для живлення старого навчального корпусу:

$$S = \frac{W_{доба}}{P_{ФМ}} = \frac{1142000}{137,5} = 8305 \text{ м}^2 \quad (8)$$

В нашому розпорядженні є площа даху старого навчального корпусу, яка дорівнює  $S=7537 \text{ м}^2$ .

Виходячи з цього розрахуємо можливу кількість розташованих фотоелементів (ФЕ) на цій ділянці (враховуючи, що коефіцієнт затінення дорівнює  $n=1,7$ ):

$$N_{ФЕ} = \frac{S}{Ibn} = \frac{7537}{1,64 \cdot 0,99 \cdot 1,7} = 2730 \text{ панелей} \quad (9)$$

Виходячи з вище наведених розрахунків можна отримати середню питому потужність фотомодулів на добу:

$$P_{\Phi M \Sigma} = P_{\Phi M} \cdot N_{\Phi E} = \\ = 137,5 \cdot 2730 = 375,4 \text{ кВт/м}^2, \quad (5)$$

Для даної сонячної станції вибрані гелеві акумуляторні батареї Challenger G12-260 (табл 4).

Таблиця 4

#### Характеристики акумуляторної батареї Challenger G12-260

Тип	гелева
Номинальна напруга, В	12
Ємність, А·год	240
Максимальний струм розряду, А	2600
Внутрішній опір, Ом	5
Робоча температура, °С	-20...+50
Висота/ширина /глибина, мм	220/268/520
Вага, кг	74

Особливості G12-260:

- Не має потреби в обслуговуванні;
- Повне відновлення зі стану глибокого розряду;
- Прекрасні робочі характеристики при тривалих розрядах;
- Стійкість в умовах високих температур;
- Чудова стійкість до циклів заряду / розряду;

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Photovoltaic plants – Technical Application Papers No.10 [Text] / : ABB,2014.-124р.
2. Белгородский институт альтернативной энергетики [Электронный ресурс].-Режим доступа: <http://www.altenergo-nii.ru>
3. Карта сонячної активності України [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.solar-battery.com.ua/karta-solnechnoy-aktivnosti-v-ukraine/>
4. ABB string inverters TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480 [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://library.e.abb.com/public/a471ec20997b4eaa868bca4b30dcf868/TRIO-50-EN-RevF-3.pdf>
- Монокристалічні панелі ABI-SOLAR M60275-D [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://solarled.com.ua/1704-abi-solar-m60275-d-605000-grn-abi-solar-abi-solar-monok>
5. Пшінько,О.М. Аналіз впровадження енергозберігаючих заходів в університеті [Текст] / О.М. Пшінько, Д.К. Яценко, В.Г. Кузнецов, М.В. Шаптала // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну.-2013.-№6(74).-С.344-352.
6. Пшінько,О.М. Підвищення ефективності споживання електроенергії в університеті [Текст] / О.М. Пшінько, В.Г. Сиченко, В.Г. Кузнецов, Д.К.

© Кузнецов В. Г., Анікеєв І. Л., 2017

- Відсутня необхідність використання зрівняльного заряду знижений саморозряд;
  - Потовщені електроди знижують корозію решітки та збільшують довговічність батарей;
  - Надійний захист від короткого замикання внаслідок високої механічної міцності полімерного сепаратора;
  - Можливість установки в будь-якому положенні
- термін служби на 10-30% більше, ніж у АКБ AGM.

#### Висновок

Радикально зменшити витрати на паливно-енергетичні ресурси в університеті можливо за рахунок впровадження фотоелектричної системи. Можливий варіант розміщення фотоелектричної системи на даху старого корпусу. Обрано та розраховано основні електричні характеристики мережевої сонячної фотоелектричної станції для додаткового забезпечення електроенергією університету. Доцільно використання в якості фотомодулів монокристалічних фотомодулів ABi-Solar M60275-D, акумуляторних батарей Challenger G12-260, 3-фазних мережевих інверторів ABB TRIO-50.0-TL-OUTD. Розрахунками встановлено, що сонячна фотоелектрична станція зможе покрити 50- 80% витрат на електроенергію старого навчального корпусу.

#### REFERENCES

1. Photovoltaic plants – Technical Application Papers No.10 [Text] / : ABB,2014.-124р.
2. Belgorodskiy institut alternativnoy energetiki [Belgorod Institute of alternative energy] [Electronic resource].- Rezhim dostupa- Mode of access: <http://www.altenergo-nii.ru>
3. ABB string inverters TRIO-50.0-TL-OUTD-US-480 [Electronic resource].- Rezhim dostupa- Mode of access: <https://library.e.abb.com/public/a471ec20997b4eaa868bca4b30dcf868/TRIO-50-EN-RevF-3.pdf>
4. Monokristalichni paneli [Monocrystal panels] ABI-SOLAR M60275-D[Electronic resource].- Rezhim dostupa- Mode of access: <https://solarled.com.ua/1704-abi-solar-m60275-d-605000-grn-abi-solar-abi-solar-monok>
5. Pshinko, O.M. Analiz vprovadzhennia energozberigajutchych zahodiv v universyteti [Analysis of implementation of energy saving measures in the university][Text] /O.M. Pshinko, D.K. Jacenko, V.G. Kuznetsov, M.V. Shaptala//Visnik Kiyivskogo natsionalnogo unIversitetu tehnologiy ta dizaynu-Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design.-2013.-№6(74).-P.344-352.
6. Pshinko, O.M. Pidvyshhennya efektyvnosti spozhyvannya elektroenergiyi v universyteti [Improving the efficiency of electricity consumption at the universi-

Яценко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит.-2012.-№ 10 (104).- С.30-34.

7. Пшінько, О.М. Методика визначення обсягів споживання електричної енергії та теплоти науковими підрозділами університету [Текст] / О.М. Пшінько, В.Г. Кузнецов, М.В. Шаптала, Д.Е. Шаптала // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.-2015.-№№1(55).-С.15-22.

8. Пшінько, О. М. Напрямки енергозбереження в університеті [Текст] / О.М. Пшінько, В.Г. Кузнецов, В.Г. Сиченко // Збірник тез доповідей I міжнародної науково-практичної та навчально-методичної конференції "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку -2014".-2014.-Київ.-С.56-57.

9. Пшінько, О.М. Підвищення ефективності роботи системи теплопостачання інфраструктури громадських будівель на прикладі ДНУЗТ [Текст] / О.М. Пшінько, В.Г. Кузнецов, Д.К. Яценко, В.О. Габрінець // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.-2016.-№3(63).-С.76-96.

10. Фотозлектрические системы. Лабораторный практикум : учебное пособие А. П. Достанко и др. – Минск : БГУИР, 2014. – 67 с.

11. Ковалев О.П. Возобновляемые источники энергии и энергообеспечение автономных потребителей // Труды ДВГТУ. Вып. 134. Теплоэнергетика. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. – С. 16 – 20.

12. Кашкаров, А.П. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин - Москва, КноРус, 2010.- 240 с.

ty][Text]/ O.M. Pshinko, V.G. Kuznetsov, D.K. Jacenko// Energoberezhenie.Energetika.Energoaudit- Energy saving. Energy. Energy audit.-2012.-№ 10 (104).- P.30-34.

7. Pshinko, O M. Metodyka vyznachennia obsiahiv spozhyvannia elektrychnoi enerhii ta teploty naukovymy pidrozdilamy universytetu [Methodology for determining the volume of electricity and heat consumption by the scientific departments of the University]/ O.M. Pshinko, V.G. Kuznetsov, M.V. Shaptala, D.E. Shaptala// Nauka ta prohres transportu.Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu-Science and transport progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. .-2015.-№№1(55).-P.15-22.

8. Pshinko, O M. Napriamky enerhozberezhennia v universyteti [The directions of energy saving in the university] [Text]/ O.M. Pshinko, V.G. Kuznetsov, V.G. Sychenko//Zbirnyk tez dopovidei I mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi ta navchalno-metodychnoi konferentsii "Enerhetychnyi menedzhment: stan ta perspektyvy rozvytku - Abstracts of international scientific-practical and educational-methodical conference "Energy management: the state and prospects of development -2014".-2014.-Kyiv-P.56-57.

9. Pshinko, O M. Pidvyshchennia efektyvnosti roboty systemy teplopostachannia infrastruktury hromadskykh budivel na prykladi DNUZT [The efficiency of the heating system in infrastructure of public buildings on the example of DNUZT] [Text]/ O.M. Pshinko, V.G. Kuznetsov, D.K. Jacenko, V.O. Gabrinec//Nauka ta prohres transportu.Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu-Science and transport progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. .-2016.-№3(63).-P.76-96.

10. Fotojelektricheskie sistemy. Laboratornyj praktikum : uchebnoe posobie . [Photovoltaic systems. Laboratory Workshop: Training Manual] /A.P. Dostanko and others – Minsk:BGUIR, 2014-67p

11.Kovalev O.P. Vozobnovljaemye istochniki jenerghii i jenergoobespechenie avtonomnyh potrebitel'ej [Renewable energy sources and power supply of autonomous consumers]// Trudy DVGTU. Vyp. 134. Teplojenergetika. - Proceedings of DVGTU. Issue. 134. Heat power engineering.- Publ. DVGTU, 2003- P.16-20.

12.Kashkarov A.P. Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki jenerghii [Nonconventional and renewable energy sources] U.D. Sibikin, M.U. Sibikin.- M., Knorus, 2010. – 240p.

Надійшла до друку 16.05.2017.

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

Зовнішній рецензент *Денисюк С. П.*

Мета. У роботі аналізується перспектива впровадження фотоелектричної станції в університеті для часткового покриття витрат на паливно-енергетичні ресурси в характерних кліматичних умовах м.Дніпро. Головною метою роботи є вибір основних компонентів фотоелектричної станції – фотоелектричних модулів, інвертора, акумуляторної батареї. Розглянуто варіант розташування фотоелектричної станції на даху старого навчального корпусу. Методика. Прогнозування очікуваної генерації сонечної енергії здійснено на основі діючої карти сонячної активності. Витрати на електроенергію в навчальному корпусі визначались на основі проведеного енергетичного аудиту. В розрахунок прийнято усереднене значення добової сумарної потужності споживачів електроенергії навчального корпусу. Результати. Радикально зменшити витрати на паливно-енергетичні ресурси в університеті можливо за рахунок впровадження фотоелектричної системи. Можливий варіант розміщення фотоелектричної системи на даху старого корпусу. Обрано та розраховано

© Кузнецов В. Г., Анікеєв І. Л., 2017

основні електричні характеристики мережевої сонячної фотоелектричної станції для додаткового забезпечення електроенергією університету. Запропоновано основні силові елементи фотоелектричної станції – фотоелектричні модулі, інвертори, акумулятори. Наукова новизна. Для зменшення витрат на паливно – енергетичні ресурси в університеті запропоновано використовувати мережеву фотоелектричну станцію. Такий підхід дозволяє поєднувати електропостачання від централізованого джерела та альтернативного. Розташування фотоелектричної станції на даху старого навчального корпусу не потребує виділення додаткової території, зменшується затемнення фотоелектричних модулів. Практична значимість. Витрати на паливно-енергетичні ресурси займають значну частину витрат в загальному бюджеті університету. В сучасних умовах університету повинні знаходити альтернативні шляхи економії коштів. Розрахунками встановлено, що сонячна фотоелектрична станція зможе покрити 50- 80% витрат на електроенергію старого навчального корпусу.

**Ключові слова:** фотоелектрична система; інсоляція; схема заміщення; енергетичний аудит; альтернативні джерела енергії.

УДК 621.331

В. Г. КУЗНЕЦОВ (ДНУЖТ), И. Л. АНИКЕЕВ (ДНУЖТ)

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. (056) 793-19-11, эл. почта: vkuz@i.ua, berserksamurai@yandex.ru, ORCID: orcid.org/0000-0003-4165-1056

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В УНИВЕРСИТЕТЕ

Цель. В работе анализируется перспектива внедрения фотоэлектрической станции в университете для частичного покрытия расходов на топливно-энергетические ресурсы в характерных климатических условиях г. Днепр. Главной целью работы есть выбор основных компонентов фотоэлектрической станции – фотоэлектрических модулей, инвертора, аккумуляторной батареи. Рассмотрен вариант расположения фотоэлектрической станции на крыше старого учебного корпуса. Методика. Прогнозирование ожидаемой генерации солнечной энергии осуществлено на основе действующей карты солнечной активности. Затраты на электроэнергию в учебном корпусе определялись на основе проведенного энергетического аудита. В расчеты принят усредненное значение суточной суммарной мощности потребителей электроэнергии учебного корпуса. Результаты. Радикально уменьшить расходы на топливно-энергетические ресурсы в университете возможно за счет внедрения фотоэлектрической системы. Возможен вариант размещения фотоэлектрической системы на крыше старого корпуса. Выбраны и рассчитаны основные электрические характеристики сетевой солнечной фотоэлектрической станции для дополнительного обеспечения электроэнергией университета. Предложены основные силовые элементы фотоэлектрической станции – фотоэлектрические модули, инверторы, акумуляторы. Научная новизна. Для уменьшения расходов на топливно – энергетические ресурсы в университете предложено использовать сетевую фотоэлектрическую станцию. Такой подход позволяет объединять электроснабжение от централизованного источника и альтернативного. Расположение фотоэлектрической станции на крыше старого учебного корпуса не требует выделения дополнительной территории, уменьшается затемнение фотоэлектрических модулів. Практическая значимость. Расходы на топливно – энергетические ресурсы занимают значительную часть расходов в общем бюджете университета. В современных условиях университеты должны искать альтернативные пути экономии ресурсов. Расчетами установлено, что солнечная фотоэлектрическая станция сможет покрыть 50-80% расходов на электроэнергию старого учебного корпуса.

**Ключевые слова:** фотоэлектрическая система; инсоляция; схема замещения; энергетический аудит; альтернативные источники электроэнергии.

Внутренний рецензент *Гетьман Г. К.*

Внешний рецензент *Денисюк С. П.*



UDC 621.331

V. G. KUZNETSOV (DNURT), I. L. ANIKIEEV (DNURT)

Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana str.,2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. (056) 793-19-11, email: vkuz@i.ua, berserksamurai@yandex.ru, ORCID: orcid.org/0000-0003-4165-1056

## PROSPECTS FOR THE USING OF THE PHOTOVOLTAIC IN UNIVERSITY

Purpose. This article is dedicated to analyse the prospect of using of the photovoltaic plant in university for a partial covering of the expenses on energy sources under the characteristic climate conditions in Dnipro. The choice of the main components of photovoltaic plant – photoelectric modules, inverter, battery is a main goal of this work. The option of an arrangement of photovoltaic plant on a roof of the old educational building is considered. Methodology. Forecasting of the expected generation of sun energy is carried out on the basis of the operating maps of solar activity. Volume of the electric energy in educational building was defined on the basis of the carried-out energy audit. In calculations it is used the average value of daily total power of electric power consumers in educational building. Results. It is possible to reduce considerably the expenses on energy sources in university by introducing of photovoltaic plant. The option of placement of photovoltaic system on a roof of the old educational building is possible. The main electric characteristics of the network solar photovoltaic plant for additional power supply in university are chosen and calculated. The basic power elements of photovoltaic plant – photo-electric modules, inverters, accumulators are offered. Scientific novelty. For reduction of expenses on energy sources in university it is offered the using of the network photovoltaic plant. Such approach allows to unite power supply from the centralized source and alternative one. The installation of the photovoltaic plant on a roof of the old educational building does not demand allocation of the additional territory, blackout of photo-electric modules decreases. Practical importance. Expenses on energy sources are considerable part of expenses in the general budget of university. Currently universities have to seek the alternative ways of economysing of the sources. It is proved by calculations that the solar photovoltaic plant will be able to cover 50-80% of expenses on the electric power in the old educational building.

**Keywords:** photoelectric system; insolation; equivalent circuit; energy audit; alternative sources of the electric power.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Denisyuk S. P.*