

ЩОДО УЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Будівлі наразі є одним з потужніших споживачів енергетичних ресурсів в Україні, у тому числі електричної енергії[1] – на їх долю припадає біля 40% споживаної енергії. В Україні вимоги до рівня споживання енергії в будівлях регламентуються Законом «Про енергетичну ефективність будівель» через відповідні класи енергоефективності[2]. Питання підвищення енергоефективності даних об'єктів є глобальним завданням сьогодення на світовому рівні. Зокрема, на саміті ООН з клімату 2019 р поставлено за мету до 2030 року досягти виконання вимог нульового споживання енергії у нових забудовах та до 2050 року - такого ж рівня в існуючих будівлях. Використання відновлювальних джерел енергії є безумовною, необхідною складовою для вирішення поставлених завдань. Огляд літератури стосовно улаштування енергоефективних будівель в частині проєктування інженерних систем виявив низький рівень висвітлення питань, що стосуються улаштування та проєктування схем електропостачання будівель з ВДЕ[3-7]. В статті представлені існуючі схемні рішення інтеграції ВДЕ в систему електропостачання будівель.

Метою даної статті є опрацювати вітчизняний та закордонний досвід улаштування систем електропостачання будівель з ВДЕ, існуючі нормативні документи щодо цього, сформулювати вимоги, критерії вибору елементів, схемних рішень, та системи електропостачання з ВДЕ цілому.

Ключові слова: система електропостачання будівель, відновлювальні джерела енергії (ВДЕ), сонячна генерація електричної енергії, фотовольтаїчні електричні станції (ФЕС), фотоелектрична панель (ФП), сонячна батарея (СБ), інвертор, акумулятор, ввідний щиток, розподільчий щиток, з'єднувальна коробка, запобіжник, автоматичний вимикач, пристрій захисту від імпульсних перенапруг, заземлення.

Вступ.

В основу подальшого розвитку енергетики України покладено повсюдне використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), що закріплено в Енергетичній стратегії України на 2050 рік в частині досягнення максимального рівня кліматичної нейтральності, оновлення та модернізація енергетичної інфраструктури, розвиток альтернативних джерел енергії, нових продуктів та інноваційних рішень в енергетичному секторі [8].

Даний аспект є обумовленим з огляду на:

- розвиток країни у контексті світових трендів стратегії сталого розвитку;
- позитивний світовий досвід (США, Європа, Китай та ін.);
- обмеженість та скінченність власних викопних палив;
- відсутність (на даний момент) альтернативних екологічних, доступних джерел енергії, що дійшли до стадії широкого практичного застосування;
- необхідність енергетичної незалежності як складової незалежності країни в цілому.

Держава веде активну популяризацію та створює стимули для заохочення споживачів усіх форм власності щодо побудови установок, які виробляють енергію з використанням ВДЕ:

- зелений тариф;
- зелені єврооблігації;
- Міністерство енергетики України почало розглядати можливість та навіть готувати відповідну законодавчу базу щодо впровадження різних ринкових механізмів стимулювання розвитку ВДЕ, як наприклад, контракти на різницю (Contract for difference), корпоративні РРА, гарантії походження тощо[9];
- впровадження Системи керування обмеженнями ВДЕ, в якій прописано право виробникам на компенсацію за невідпущену в результаті диспетчерського обмеження електроенергію з ВДЕ
- підтримка закордонних грантових програм [10];
- формування та організація легкого доступу до інформаційних матеріалів [11].

Наслідками такої політики стало впевнена інтеграція генеруючих енергетичних установок в енергетичну систему України з стабільним збільшенням їх кількості рис. 1



Рисунок 1 - Динаміка збільшення встановленої потужності об'єктів ВДЕ в Україні

Особливого розвитку набули Сонячні електричні станції, зокрема встановлені в домогосподарствах України - на кінець 2021 року встановлена потужність складала 1 205,1 МВт.

Таким чином, треба розуміти, що частка відновлювальної енергетики буде стабільно зростати, зокрема на об'єктах побуту. За якийсь час кожна будівля буде таким чи інакшим способом заживлена від ВДЕ. Постає проблема відсутності типових рішень, затверджених норм, вимог, критеріїв для улаштування систем електропостачання будівель з ВДЕ, зокрема з сонячною генерацією, відсутність нормативних документів, що регламентують ці питання. Питання розробки та проектування схем електропостачання таких об'єктів практично не розглядається.

Схемні рішення системи електропостачання будівлі з сонячною генерацією

Інтеграція ВДЕ в систему електропостачання будівель має свої особливості в силу стохастичності генерації електричної енергії на таких джерелах, способу улаштування пристроїв генерації, геометричних характеристик будівлі за місцем улаштування, характер споживачів будівлі. Отже, необхідна варіація схемних рішень, які будуть оптимальним чином задовільняти заданим вхідним техніко-економічним параметрам будівлі, характеру та потребам кінцевого споживача.

На рис. 2 наведено варіант схемного рішення системи електропостачання будівлі (СЕПБ), що може бути застосована в будівлі, де пристрої сонячної генерації розташовані за різними сторонами світу. Оптиміальні параметри генерації електричної енергії в цій схемі досягаються завдяки використанню оптимізаторів потужності – пристрою, який підключається до кожного фотоелектричного модулю та усуває вплив окремих модулів, які в певний час можуть знаходитись в гірших умовах продуктивності (кут нахилу, азимут тощо) на інші фотоелектричні модулі системи, тим самим дозволяє раціонально використовувати наявні площини дахів будівель.

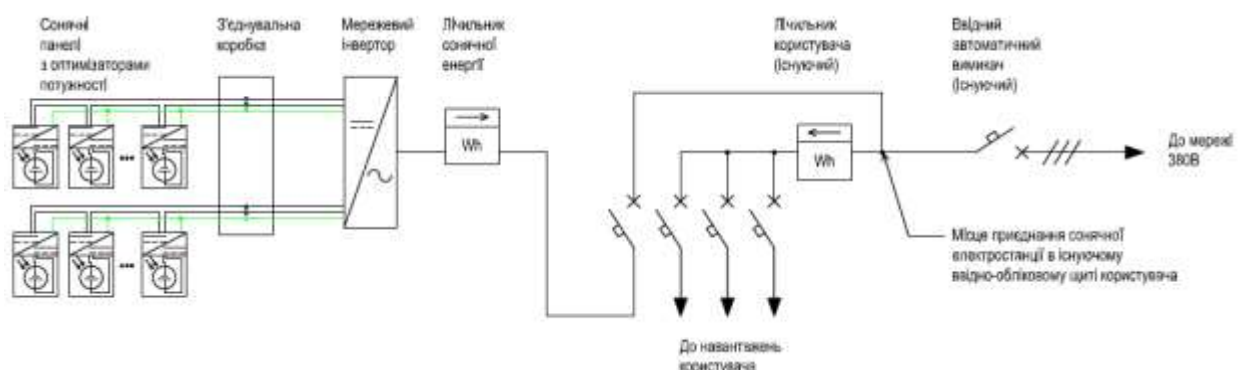


Рисунок 2 – Система електропостачання будівлі з мережевим інвертором та оптимізаторами потужності

Фотоелектрична зборка підключена до СЕПБ між ввідним автоматом будівлі та лічильником комерційного обліку електричної енергії. Таке технічне рішення дозволяє не проводити заміну існуючого

однонаправленого лічильника, але потребує улаштування додаткового, який здійснює облік сонячної генерації, для коретного розрахунку обсягів спожитої електричної енергії з централізованої мережі.

Захист кіл постійного струму (DC) здійснюється комутаційними приладами, що є вбудованими в інвертор, кіл змінного струму (AC) – автоматичними вимикачами. З'єднувальна коробка (junction box) призначена для з'єднання дротів.



Рисунок 3 – Загальний вигляд з'єднувальної коробки (junction box)

Схема, наведена на рис. 4, облаштована мікроінверторами. Таке рішення має наступні переваги: підвищення ефективності генерації електроенергії на 3-12% за рахунок роботи кожної сонячної панелі в режимі MPPT без оптимізатора потужності, висока надійність системи, гнучке нарощування потужності системи шляхом додавання мікроінверторів з сонячними панелями та підключення їх в мережу змінного струму, зменшення ділянок, що працюють на DC. В даній схемі приведено приклад підключення сонячної електростанції із заміною існуючого лічильника комерційного обліку на двонаправлений.

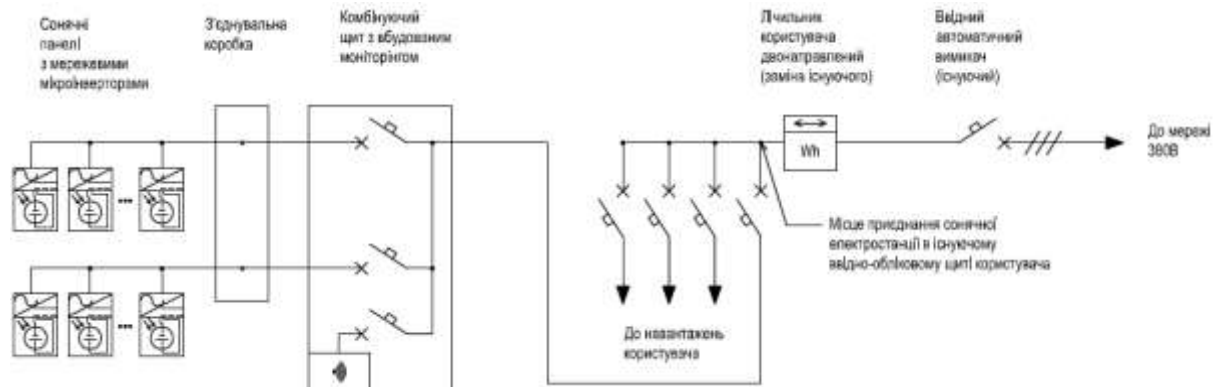


Рисунок 4 - Система електропостачання будівлі з мікроінверторами

Використання мікроінверторів потребує улаштування комбінованого щита (Combiner Box) (рис. 5) для можливості комутації та захисту окремих стрінгів сонячної системи. На схемі представлений комплектний щит з можливістю моніторингу сонячної генерації, на прикладі IQ Combiner 5/5C Quick.

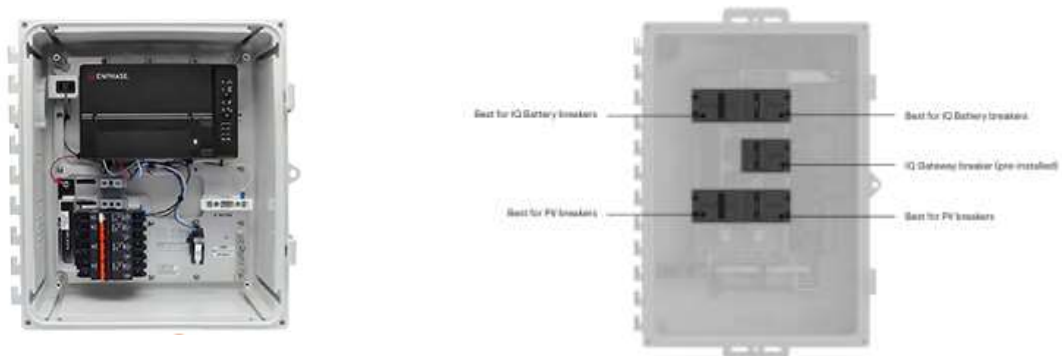


Рисунок 5 – Загальний вигляд комбінованого щита (Combiner Box) з можливістю моніторинга

На рис. 6 представлена схема системи електропостачання будівлі, що облаштована мікроінверторами на 2 фотоелектричних модуля. Комбінований щит (Combiner Box) є збірним. У порівнянні з попереднім варіантом дана схема є більш бюджетною в комплектуванні.

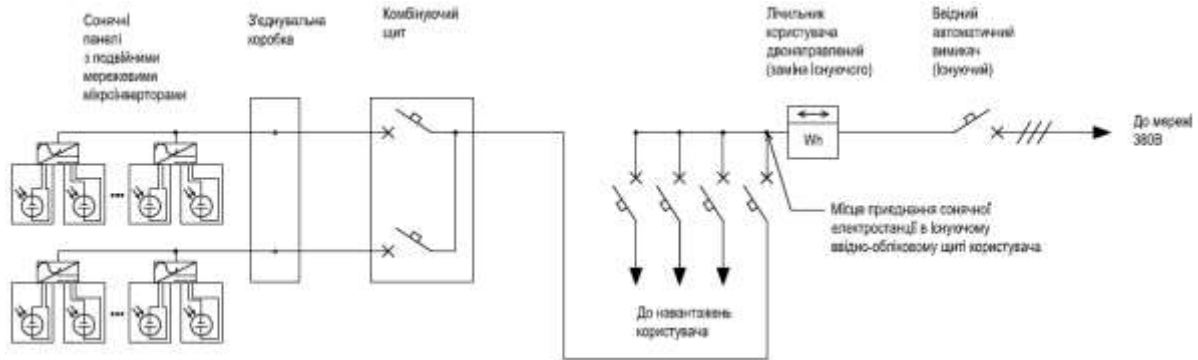


Рисунок 6 - Система електропостачання будівлі зі здовсними мікроінверторами та збірним комбінованим щитом

Основним недоліком схем рис. 2, рис. 4, рис. 6 є втрата живлення кінцевих споживачів за відсутності живлення в централізованій мережі.

За необхідності наявності додаткового джерела живлення – акумуляторна батарея – в СЕПБ може бути прийнята до улаштування схема рис. 7. В даному випадку є можливість виділити з усього переліку приймачів електричної енергії тих, що потребують резервування, улаштувати окремий розподільний щит для їх захисту та комутації, та заживити від сонячної генерації та акумуляторної батареї у разі втрати живлення від основного джерела. Усі зборки змінного струму заживлюються через інвертор. У разі від'єднання централізованої мережі мережевий вхід інвертора втрачає живлення, резервний вихід продовжує працювати.

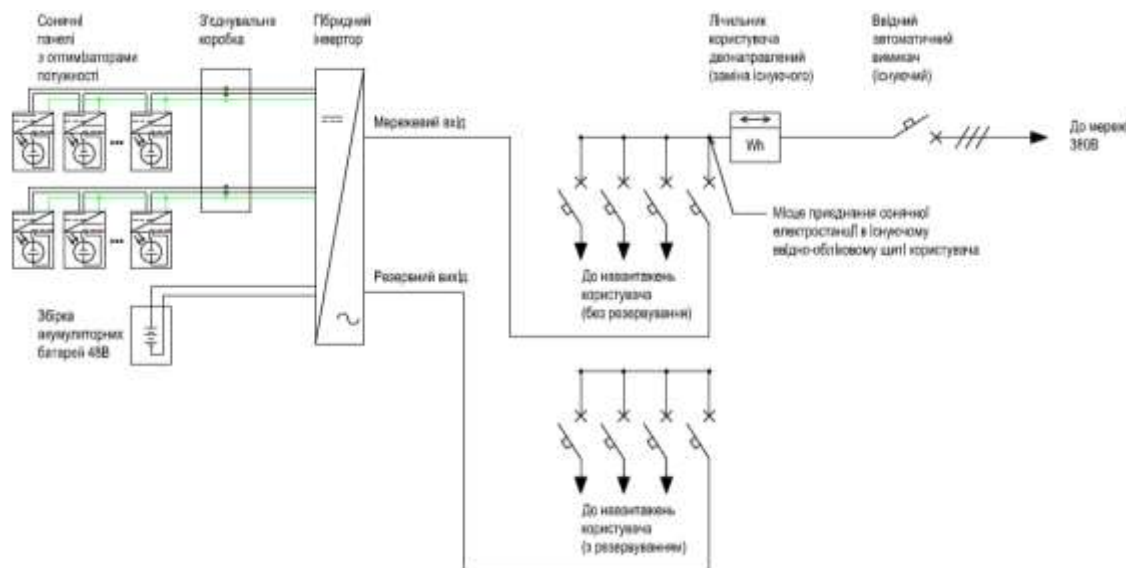


Рисунок 7 – Система електропостачання будинку з резервним джерелом живлення

Схема, представлена на рис. 8 має найбільшу кількість опцій з-поміж усіх розглянутих. Вона містить домашню акумуляторну систему живлення, наприклад, Franklin Home Power. Така система складається з інтелектуального aGate X контролера, генераторний модуль, акумуляторні батареї (рис. 9).

Система Franklin Home Power (FHP) об'єднує електромережу, сонячну генерацію, акумулятори і генератори в надійну систему управління енергією, яка керується за допомогою простого мобільного додатку. FHP забезпечує моніторинг в режимі реального часу та контроль за щоденним енергоспоживанням будинку, а також постачає енергію з декількох джерел енергії під час перебоїв в електромережі. Управління енергоспоживанням FHP здійснюється за допомогою aGate X, інтелектуального контролера, який об'єднує всі джерела живлення і автоматично виявляє перебої в електромережі, щоб плавно перевести будинок на резервне живлення протягом 16 мс.

Модуль інтелектуальних схем aGate X доступний для керування та автоматичного відключення великих енергетичних навантажень під час відключення електроенергії. Він забезпечує індивідуальне планування роботи виділених навантажень для більш ефективного використання.

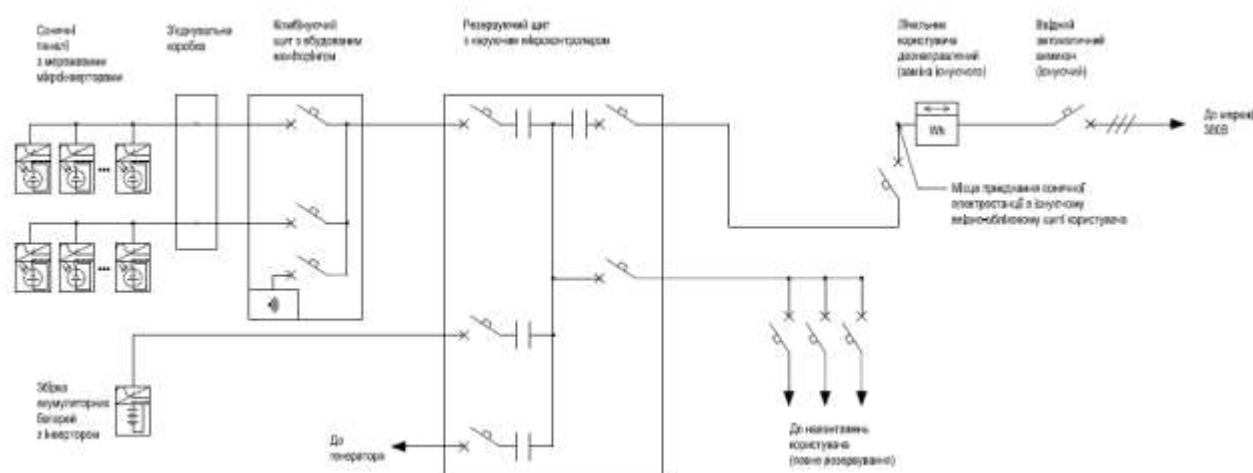


Рисунок 8 – Схема електропостачання з резервуванням та «розумним» контролером

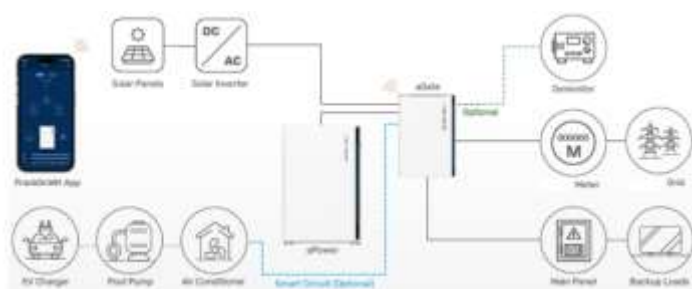


Рисунок 9 - Franklin Home Power

Висновки. Питання проектування, улаштування систем електропостачання будівель висвітлені в ДБН В.2.5-23:2010 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення». Даний нормативний документ не містить відомостей щодо вимог, порядку улаштування електричної частини установок генерації ВДЕ будівлі. В статті наведені існуючі схеми, що використовуються в країнах Європи, США, та можуть бути використані в нашій країні як у новому будівництві так і в існуючих будівлях з мінімальними змінами в компоновці існуючої системи електропостачання.

Список використаної літератури

1. Енергетичний баланс України за 2021 рік. https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm
2. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
3. Методичні рекомендації «Основи проектування та реконструкції енергоефективних будівель закладів загальної середньої освіти з поліпшеними екологічними характеристиками». https://iem.org.ua/images/library/metodychni_rekomendatsiyi_shkoly_2024.pdf
4. Доповнення Альбому технічних рішень: типові рішення для проектування енергоефективних заходів. <https://eefund.org.ua/novyny/dopovnennya-albomu-tekhniknikh-rishen-tipovi-rishennya-dlya-proektuvannya-energoefektivnikh/>
5. Принципи формування енергоефективних житлових будівель/Власенко В.М., Мартинов В.Л./ East European Scientific Journal #10(74), 2021.
6. Розвиток та принципи проектування енергоефективних житлових будівель-комплексів /Мартинов В.Л. д.т.н., професор кафедри архітектури, Полозюк С.Ю./ Східно Європейський Науковий Журнал, Випуск: 62, Том: 7 - 2020.
7. Urenev, V., & Vakhtin, D. (2020). Досвід проектування енергоефективних громадських будівель державної власності в Україні. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (57), 322–339. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.57.322-339>
8. Енергетична стратегія України. <https://www.mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya>
9. В. Омельченко Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. https://razumkov.org.ua/statti/sector-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny#_ftn9
10. Енергія сонця для діточок. <https://saee.gov.ua/uk/events/previews/5089>
11. Відновлювані джерела енергії для домогосподарств. <https://saee.gov.ua/uk/content/renewables>
12. IEC 62548 Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements
13. Photovoltaic Plants-Cutting edge Technology from Sun to socket. ... Photovoltaic Plants-Technology from Sun to socket <https://library.e.abb.com/public/fb75869122d24b408ab985833cd472db/9AKK107492A3277%20Photovoltaic%20plants%20-%20Technical%20Application%20Paper.pdf>
14. ДСТУ ІЕС 60617:2018 Графічні символи для схем (ІЕС 60617:2012 DB, IDT)

O. Lazurenko¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-4409-629X

I. Cherneshchuk², Ph. D. student, ORCID 0000-0001-6895-7843

M. Cherkashyn¹, master student, ORCID 0009-0009-3525-3669

H. Cherkashyna², Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0003-3773-7498

¹National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

²National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

CONCERNING THE ARRANGEMENT OF THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM OF BUILDINGS WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

Buildings are currently one of the largest consumers of energy resources in Ukraine, including electricity[1], accounting for about 40% of energy consumption. In Ukraine, the requirements for energy consumption in buildings are regulated by the Law "On Energy Efficiency of Buildings" through the relevant energy efficiency classes[2]. The issue of improving the energy efficiency of these facilities is a global challenge at the global level. In particular, the 2019 UN Climate Summit set a goal to achieve zero energy consumption in new buildings by 2030 and the same level in existing buildings by 2050. The use of renewable energy sources is an absolute and necessary component of achieving these goals. In addition, it should be understood that the share of renewable energy will grow steadily, in particular in household facilities. Over time, every building will be powered by renewable energy in one way or another. A review of the literature on the design of energy-efficient buildings in terms of engineering systems design revealed a low level of coverage of issues related to the design and design of power supply schemes for buildings with RES[3-7]. The article presents existing circuit solutions for the integration of RES (solar photovoltaic generation) into the building power supply system, in particular, a building power supply system with a grid-tie inverter and power optimizers, a building power supply system with microinverters, a building power supply system with twin microinverters and a prefabricated combined switchboard, a building power supply system with a backup power source, a power supply scheme with redundancy and a smart controller. A variety of schematic solutions for the power supply system allows you to choose the one that will meet a single or a set of criteria: the location of the panels by the cardinal points (one side or several); redundancy; cost; "intelligence" of the system.

Keywords: building power supply system, renewable energy sources (RES), solar electricity generation, photovoltaic power stations (FEC), photovoltaic panel (PV), solar battery (CB), inverter, battery, input panel, distribution panel, junction box, fuse, circuit breaker, surge protector, grounding.

References

1. Energy balance of Ukraine for 2021. https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm
2. Law of Ukraine "On Energy Efficiency of Buildings". <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
3. Methodical recommendations "Fundamentals of design and reconstruction of energy-efficient buildings of general secondary education institutions with improved environmental characteristics". https://iem.org.ua/images/library/metodychni_rekomendatsiyi_shkoly_2024.pdf
4. Addition to the Album of technical solutions: typical solutions for designing energy-efficient measures. <https://eefund.org.ua/novyny/dopovnennya-albomu-tekhnikh-rishen-tipovi-rishennya-dlya-proektuvannya-energoefektivnikh/>
5. Principles of forming energy-efficient residential buildings/Vlasenko V.M., Martynov V.L./ East European Scientific Journal №10(74), 2021.
6. Development and principles of designing energy-efficient residential buildings-complexes, Polozhiuk S.Iu./ Skhidno East European Scientific Journal, №62, Tom: 7 -2020.
7. Urenev, V., & Bakhtin, D. (2020). Experience in designing energy-efficient public buildings of state ownership in Ukraine. Contemporary problems of Architecture and Urban Planning, (57), 322–339. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.57.322-339>
8. Energy strategy of Ukraine. www.mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya
9. V. Omelchenko Renewable energy sector of Ukraine before, during and after the war. https://razumkov.org.ua/statti/sekto-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny#_ftn9
10. Energy of the sun for children. <https://saee.gov.ua/uk/events/previews/5089>
11. Renewable energy sources for households. <https://saee.gov.ua/uk/content/renewables>
12. IEC 62548 Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements
13. Photovoltaic Plants-Cutting edge Technology from Sun to socket. Photovoltaic Plants-Technology from Sun to socket <https://library.e.abb.com/public/fb75869122d24b408ab985833cd472db/9AKK107492A3277%20Photovoltaic%20plants%20-%20Technical%20Application%20Paper.pdf>
14. IEC 60617:2012 DB, IDT

Надійшла: 06.05.2024

Received: 06.05.2024