

ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ПРИВАТНОЇ ОСЕЛІ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЮ СИСТЕМОЮ І ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

Козеренко В.В. – гр. МгЕМ-1-24, магістрант, kozerenkovitalii81@gmail.com

Демішонкова С.А. – к.т.н., доцент, demishonkova.sa@knutd.edu.ua

Київський національний університет технологій та дизайну

Метою роботи є розробка та оптимізація інтегрованої системи електроживлення приватної оселі на основі фотоелектричної станції (ФЕС) та теплового насоса (ТН) з системою накопичення енергії для досягнення максимальної енергонезалежності та зниження витрат на енергопостачання.

Актуальність роботи. В умовах енергетичної кризи та зростання цін на традиційні енергоносії актуальність впровадження відновлюваних джерел енергії у приватному секторі значно зростає. Інтеграція фотоелектричних систем з тепловими насосами дозволяє досягти економії енергетичних витрат на 62-84% порівняно з традиційними системами опалення на природному газі. Дослідження показують, що ФЕС може покривати до 63% річної потреби теплового насоса в електроенергії при правильному підборі потужності обладнання.^{[1][2]}

Особливо перспективним є поєднання ФЕС і ТН для житлових будинків у північних кліматичних умовах, де опалення становить до 60% загального енергоспоживання. Впровадження систем накопичення енергії (БСНЕ) дозволяє підвищити рівень самоспоживання сонячної електроенергії з 30% до 60-80%, що критично важливо за умов низьких тарифів на продаж надлишків електроенергії до мережі [3, 4].

Архітектура інтегрованої енергосистеми

Розроблена система базується на багатокомпонентній архітектурі (рис. 1), що включає фотоелектричну станцію потужністю 10 кВт, гібридний інвертор, батарейну систему накопичення енергії ємністю 15 кВт·год, тепловий насос потужністю 12 кВт, тепловий акумулятор об'ємом 500 л та систему інтелектуального управління енергопотокami (EMS).

Фотоелектрична система встановлюється на південному схилі даху будинку під оптимальним кутом нахилу 35-40° для максимального річного виробітку електроенергії. Гібридний інвертор потужністю 10 кВА забезпечує перетворення постійного струму від ФЕС у змінний, керування зарядом/розрядом батарей та синхронізацію з електромережею. Система підтримує три режими роботи: автономний (island mode), мережевий з

пріоритетом самоспоживання (self-consumption) та гібридний з динамічним балансуванням потоків енергії.



Рисунок 1 – Архітектура системи електроживлення приватної оселі з фотоелектричною системою і тепловим насосом

Таблиця 1 – Технічні характеристики обладнання системи

Компонент системи	Параметри/Характеристики	Призначення
Фотоелектрична система (ФЕС)	Потужність: 10 кВт, Полікристалічні модулі, Ефективність: 18-20%	Генерація електроенергії з сонячного випромінювання
Інвертор	Потужність: 10 кВА, Гібридний інвертор, ККД: 97-98%	Перетворення DC→AC, керування БСНЕ, підключення до мережі
Система накопичення енергії (БСНЕ)	Ємність: 15 кВт·год, Lithium Iron Phosphate (LFP), Цикли заряду: >6000	Зберігання надлишкової енергії, живлення у пікові години
Тепловий насос	Потужність опалення: 12 кВт, COP опалення: 3.5-4.5, COP охолодження: 4.0-5.0	Опалення взимку, охолодження влітку, ГВП цілорічно
Тепловий акумулятор	Об'єм: 500 л, Матеріал: нержавіюча сталь, Ізоляція: 100 мм	Зберігання теплової енергії, зменшення циклів увімкн./вимкн. ТН
Система управління	EMS контролер, Прогнозування споживання, Оптимізація роботи ТН	Інтелектуальне керування енергопотоками, мінімізація витрат

Тепловий насос типу «повітря-вода» забезпечує опалення будинку взимку з коефіцієнтом ефективності (COP) 3.5-4.5 та охолодження влітку з COP 4.0-5.0. Це означає, що на кожний 1 кВт спожитої електроенергії система генерує 3.5-4.5 кВт теплової енергії, що значно ефективніше прямого електричного опалення. Тепловий акумулятор дозволяє зберігати надлишкову теплову

енергію протягом дня для використання у нічні години, зменшуючи кількість циклів увімкнення/вимкнення теплового насоса та підвищуючи його ресурс [5].

Енергетичний баланс та сезонна оптимізація

Ключовою особливістю розробленої системи є адаптивне керування енергопотоками з урахуванням сезонних варіацій генерації ФЕС та споживання теплового насоса.

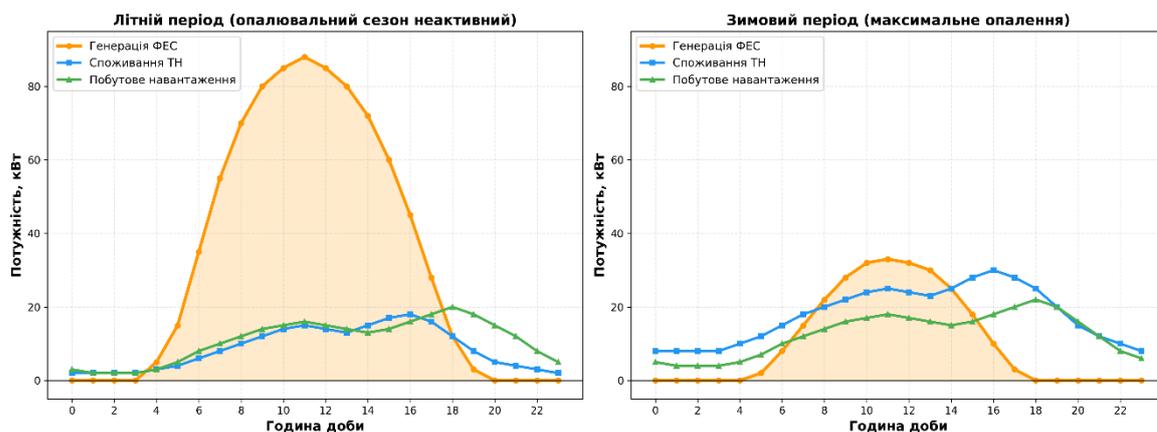


Рисунок 2 – Добовий енергетичний баланс системи у літній та зимовий періоди

Графік на рисунку 2 демонструє принципові відмінності у роботі системи протягом року.

Літній період характеризується високою генерацією ФЕС (42-45 кВт·год/добу) при низькому споживанні теплового насоса (8-10 кВт·год/добу), що працює переважно у режимі охолодження та підігріву гарячої води. Пік генерації припадає на 11:00-14:00 з максимальною потужністю 85-88 кВт. Надлишкова енергія (17-25 кВт·год/добу) експортується до мережі за "зеленим" тарифом або зберігається у БСНЕ для використання у вечірні години. Рівень самоспоживання досягає 55-60%, що забезпечує економію коштів на 70-75% порівняно з повним імпортом електроенергії.

Зимовий період демонструє зворотню ситуацію: генерація ФЕС знижується до 12-15 кВт·год/добу через коротший світловий день та нижчий кут сонця, тоді як споживання теплового насоса зростає до 28-32 кВт·год/добу через потребу в інтенсивному опаленні. Система працює у гібридному режимі з імпортом 27-35 кВт·год/добу з мережі переважно у нічні години за нічним тарифом. Рівень самоспоживання знижується до 30-35%, проте завдяки високому COP теплового насоса економія коштів все одно становить 45-50% порівняно з традиційним газовим опаленням.

Таблиця 2 – Порівняльні енергетичні показники системи по сезонах

Параметр	Літній період	Зимовий період	Середньорічний показник
Середньодобова генерація ФЕС, кВт·год	42-45	12-15	28-30
Середньодобове споживання ТН, кВт·год	8-10	28-32	18-21
Побутове споживання, кВт·год	12-15	14-18	13-16
Загальне споживання, кВт·год	20-25	42-50	31-37
Самоспоживання ФЕС, %	55-60	30-35	42-47
Експорт до мережі, кВт·год	17-25	0	8-12
Імпорт з мережі, кВт·год	0-2	27-35	13-18
Економія коштів порівняно з традиційним, %	70-75	45-50	57-62

Система інтелектуального управління (EMS) реалізує алгоритм прогнозного керування на основі погодних даних, історії споживання та тарифів на електроенергію. У літній період EMS максимізує експорт надлишкової енергії у денні години за високим тарифом, а взимку оптимізує роботу теплового насоса для зарядки теплового акумулятора у години пікової генерації ФЕС (10:00-15:00), знижуючи імпорт з мережі у вечірні пікові години.

Висновок. Розроблена інтегрована система електроживлення приватної оселі на основі ФЕС потужністю 10 кВт, теплового насоса 12 кВт та БСНЕ 15 кВт·год демонструє високу ефективність з середньорічною економією коштів 57-62% порівняно з традиційними системами енергопостачання. Рівень самоспоживання сонячної електроенергії становить 42-47%, що підтверджує доцільність інтеграції систем накопичення енергії. Запропонована архітектура та алгоритми керування забезпечують адаптацію до сезонних змін генерації та споживання, максимізуючи економічну ефективність протягом року.

Список використаних джерел:

1. Solar Powers Heat 2023 / SolarPower Europe. 2023. URL: <https://www.solarpowereurope.org/insights/thematic-reports/solar-powers-heat-2023-2>
2. Residential Sizing of Solar Photovoltaic Systems and Heat Pumps for Net Zero Sustainable Thermal Building Energy / S. Rana and other. Computation. 2024. Vol. 12, №6. DOI: 10.3390/computation12060126
3. Optimizing Residential Energy Systems in Households: A Model Integrating Energy Assets with Economic Evaluation through LCOCE / IEEE. 2024. DOI: 10.1109/SEST61601.2024.10582634
4. Improvement of energy self-sufficiency in residential buildings by using solar-assisted heat pumps and thermal and electrical storage / M. Beccali and other. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2023. Vol. 60. DOI: 10.1016/j.seta.2023.103545
5. Performance simulation and analysis of a solar-assisted multifunctional heat pump system for residential buildings / Y. Wang and other. International Journal of Sustainable Energy. 2024. DOI: 10.1080/14786451.2024.2394116