

Федірко Михайло Миколайович, к.е.н., доцент кафедри енергетичних систем та бізнес-аналітики, m.fedirko@wunu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8244-3478

Західноукраїнський національний університет

вул. Львівська 11, м. Тернопіль, Україна

Брич Василь Ярославович, д.е.н., директор навчально-наукового інституту інноватики, природокористування та інфраструктури +38(067)743-50-80, v.brych@wunu.edu.ua, ORCID ID : 0000-0002-4277-5213

Західноукраїнський національний університет

вул. Львівська 11, м. Тернопіль, Україна

Подобайло Віталій Ігнатович, к.т.н., доцент кафедри енергетичних систем та бізнес-аналітики, v.podobailo@wunu.edu.ua, ORCID ID: 009-0004-2867-408X

Західноукраїнський національний університет

вул. Львівська 11, м. Тернопіль, Україна

Клендій Петро Богданович, к.т.н., доцент кафедри енергетичних систем та бізнес-аналітики, pklendii@wunu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-2204-3610

Західноукраїнський національний університет

вул. Львівська 11, м. Тернопіль, Україна

Камишлов Віталій Георгійович, к.т.н., доцент кафедри енергетичних систем та бізнес-аналітики, v.kamyshlov@wunu.edu.ua, ORCID ID: 0009-0000-6839-7890

Західноукраїнський національний університет

вул. Львівська 11, м. Тернопіль, Україна

ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПОТЕНЦІАЛУ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОТЕЛЬНИХ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Анотація. Забезпечення надійності електропостачання підприємств комунальної теплоенергетики України є актуальним з огляду на фізичні руйнування об'єктів централізованих електромереж, оскільки котельні централізованого теплопостачання та центральні теплові пункти є критично важливими складовими інфраструктури. У цьому зв'язку у статті розглянуто можливість застосування гібридної системи електропостачання з когенерацією та відновлюваними джерелами. В роботі запропоновано критерії та підходи до формування структури та визначено потенціал гібридної системи електропостачання котельних централізованого теплопостачання. Такими критеріями є характер споживання електроенергії та характер її генерації структурними елементами гібридної системи. В цьому контексті визначено структуру гібридної системи електропостачання з урахуванням сезонності роботи та стохастичного характеру навантаження та генерації. При цьому враховано підхід щодо мінімізації строку окупності та екологічний підхід з огляду на інституційні вимоги Європейського Союзу та України щодо структури гібридних систем електропостачання. Визначено параметри структурних елементів гібридної системи електропостачання на основі реальних даних, що стосуються котельні централізованого теплопостачання, а саме фотоелектричної станції, вітроелектро станції, акумуляторної батареї та когенераційної установки. Встановлено режими роботи гібридної системи електропостачання в залежності від технологічних вимог роботи централізованої мережі теплопостачання. Отримані результати можуть бути використані при розробці гібридних систем електропостачання для підприємств комунальної теплоенергетики України.

Ключові слова: гібридна система електропостачання, відновлювальні джерела енергії, системи централізованого тепlopостачання

Fedirko Mykhailo, Ph.D., Associate Professor, Department of Energy Systems and Business Analytics, m.fedirko@wunu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8244-3478

Western Ukrainian National University

11 Lvivska St., Ternopil, Ukraine

Brych Vasyl, Doctor of Economics, Director of the Educational and Scientific Institute of Innovation, Environmental Management, and Infrastructure, +38(067)743-50-80, v.brych@wunu.edu.ua, ORCID ID : 0000-0002-4277-5213

Western Ukrainian National University

11 Lvivska St., Ternopil, Ukraine

Podobailo Vitalii, Ph.D., Associate Professor, Department of Energy Systems and Business Analytics, v.podobailo@wunu.edu.ua, ORCID ID: 009-0004-2867- 408X

Western Ukrainian National University

11 Lvivska St., Ternopil, Ukraine

Klendii Petro, Ph.D., Associate Professor, Department of Energy Systems and Business Analytics, pklendii@wunu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-2204-3610

Western Ukrainian National University

11 Lvivska St., Ternopil, Ukraine

Kamyshlov Vitaliy, PhD, Associate Professor, Department of Energy Systems and Business Analytics, v.kamyshlov@wunu.edu.ua, ORCID ID: 0009-0000-6839-7890

Western Ukrainian National University

11 Lvivska St., Ternopil, Ukraine

APPROACHES TO FORMING THE STRUCTURE AND POTENTIAL OF A HYBRID ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM FOR CENTRALIZED HEATING BOILER ROOMS

Abstract. Ensuring the reliability of electricity supply to municipal heat energy enterprises in Ukraine is relevant in the context of physical damage to centralized power grid facilities, since centralized heat supply boiler rooms and central heating stations are critically important. In this regard, the article considers the possibility of using a hybrid power supply system with renewable sources. The study proposes criteria and approaches for forming the structure and determines the potential of a hybrid power supply system for centralized heat supply boiler rooms. These criteria are the nature of electricity consumption and the nature of its generation by the structural elements of the hybrid system. In this context, the structure of a hybrid power supply system is determined, taking into account the seasonality of operation and the stochastic nature of load and generation. This takes into account the approach to minimizing the payback period and the environmental approach, considering the institutional requirements of the European Union and Ukraine regarding the structure of hybrid power supply systems. The parameters of the structural elements of the hybrid power supply system are determined based on real data relating to the central heating boiler room, namely the photovoltaic station, wind power station, storage battery, and cogeneration plant. The operating modes of the hybrid power supply system have been determined depending on the technological requirements of the centralized heat supply network. The results obtained can be used in the development of hybrid

power supply systems for municipal heat energy enterprises in Ukraine.

Keywords: *Hybrid power supply system, renewable energy sources, centralized heating systems.*

Постановка проблеми. Дефіцит електроенергії через її недостатнє виробництво, неефективну передачу або недосконале розподільне обладнання може негативно впливати на економіку та соціальну сферу. Для України ця обставина обумовлена військовими діями та ускладнена фізичним руйнуванням об'єктів енергетичної інфраструктури. Неспроможність забезпечити постійне постачання електроенергії має негативні наслідки для економіки, виробництва, безпеки та соціального добробуту. Особливо це стосується комунальної теплоенергетики України, оскільки котельні централізованого теплопостачання є критично важливими об'єктами, які потребують високої надійності електропостачання, і в цьому контексті постає проблема вибору системи їх електропостачання. Застосування гібридної системи до котелень централізованого теплопостачання має свою специфіку, пов'язану з їхнім профілем навантаження та критичністю. Головною проблемою використання для цієї мети централізованої електричної мережі в сучасних умовах є низька якість електроенергії, зокрема нестабільність напруги та частоти, які можуть виникати через перенавантаження або руйнування. При цьому мають місце високі втрати електроенергії під час передавання на великі відстані. Проблема загострюється тим, що більшість електромереж в Україні побудовані ще в 70-90-х роках і багато з них не відповідають сучасним умовам експлуатації. Перманентне зростання цін зокрема на енергоносії, електричну енергію призводить до зниження економічних показників роботи систем централізованого теплопостачання. В цьому контексті підвищення надійності електропостачання об'єктів систем централізованого теплопостачання може бути вирішене шляхом застосування гібридних систем з відновлювальною генерацією та когенерацією, які можуть працювати автономно або бути інтегрованими в централізовану електричну мережу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В наукових працях як зарубіжних, так і відчизняних вчених велика увага приділяється пошуку ефективних способів електрифікації інфраструктури в умовах зростання вартості

традиційних видів палива. Так у роботі [1] розглядаються можливості для електропостачання критичної інфраструктури місцевих громад, як один із напрямків покращення їхньої енергетичної незалежності. Автори цього дослідження акцентують особливу увагу на важливості поєднання локальних джерел живлення з відновлювальною енергетикою, що стає дедалі актуальнішою з огляду на зростання тарифів на енергоносії. У дослідженні [2] розглянуто гібридні енергосистеми, які поєднують традиційні та відновлювальні джерела енергії. Ці системи мають локальні мережеві властивості і можуть працювати автономно, що робить їх перспективними для електропостачання віддалених населених пунктів. Автори зазначають, що головною складністю в таких системах є варіабельність генерації та навантаження, що ускладнює оцінку та забезпечення поточного балансу енергії. Наявність в таких системах сонячних електростанцій і вітрових турбін, хоч і знижує споживання електроенергії отриманої з викопних видів палива, в той же час воно підвищує потребу в накопичувачах енергії для згладжування коливань генерації. У роботі [3] обґрунтовано що змінний характер навантаження технологічних об'єктів теплових систем має на коефіцієнт потужності електрообладнання, зокрема насосних агрегатів. Його зміна може призвести до додаткових реактивних навантажень що ускладнює підтримання енергетичного балансу в гібридній системі та знижує її ефективність. У дослідженні [4] наведено типові графіки електричного навантаження створюваного мережею циркуляційних насосів, що мають стохастичний характер і безпосередньо корелюють з температурними режимами роботи систем централізованого тепlopостачання. Це означає, що електричне споживання таких об'єктів не є стабільним, а може змінюватися в залежності від зовнішніх кліматичних умов та поточного теплового навантаження. Особливий інтерес становить робота [5], в якій проаналізовано деякі сценарії побудови енергетичних систем з використанням різних комбінацій відновлювальних джерел енергії, способів фінансування та електропостачання різноманітних технологічних об'єктів. Автори цієї праці не лише порівнюють технічні рішення, але й оцінюють їхню економічну доцільність, що підкреслює комплексний підхід до вирішення

питання енергоефективності. З вищенаведеного огляду видно, що велика кількість сучасних робіт присвячена синтезу гібридних електричних мереж в контексті виробництва електричної енергії. Дослідники зосереджують увагу переважно на оптимізації параметрів генерації, виборі типів джерел енергії та алгоритмах керування виробленням. Водночас питання структури та особливості функціонування гібридних систем з боку навантаження залишаються недостатньо вивченими. Саме ці аспекти мають ключове значення для забезпечення стабільної роботи таких систем у реальних умовах, особливо для об'єктів комунальної теплоенергетики, в першу чергу для котелень та центральних теплових пунктів. Певну увагу цій проблемі приділяють в деяких роботах. Так у дослідженні [6] розглядається питання оптимального визначення розмірів компонентів гібридної системи на основі моделювання вітрової і сонячної генерації. Результати показують, що правильна конфігурація елементів дозволяє суттєво збільшити ефективність систем при мінімальних капітальних витратах, що безпосередньо корелює з завданням цієї роботи. Крім того, у роботі [7] наведено методи оптимізації режимів роботи гібридної системи електропостачання. У роботі [8] подано структуру гібридної енергосистеми для сільськогосподарських підприємств, де особливу увагу приділяють вибору параметрів акумуляторів і резервних генераторів. Цікаво, що автори роблять особливий акцент на можливості адаптації такої системи до сезонного характеру енергоспоживання, ця проблема актуальна в тому ж числі і для котелень та центральних теплових пунктів.

Мета дослідження. Розробка критеріїв до формування структури та визначення потенціалу гібридної системи електропостачання котельних централізованого теплопостачання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Забезпечення безперебійного електропостачання об'єктів централізованого теплопостачання (ЦТП) є одним з головних завдань для комунальної теплоенергетики України. В умовах бойових дій руйнування енергетичної інфраструктури та підвищення цін на електроенергію постає потреба у створенні автономних або частково автономних

систем електропостачання. Поєднання сонячних панелей (ФЕ), Вітрових турбін (ВТ) у синтезі з мережею дає нам нові можливості для розвитку енергетичної інфраструктури України. Котельні централізованого теплопостачання мають специфічний профіль електроспоживання, який включає як критичне так і загальне навантаження. До критичного навантаження відносяться: циркуляційні насоси, системи автоматики, безпеки, вентиляції. До загального навантаження відносяться: освітлення, офісне обладнання, допоміжні прилади. Зупинки навіть на короткий час спричиняють охолодження теплоносія, розгерметизації системи та аварійних ситуацій. Це обумовлює підвищені вимоги до надійності системи електропостачання та значного зростання попиту на електроенергію [9].

Одним із критеріїв щодо вибору структури та потенціалу гібридної системи електропостачання, є реальні дані про електроспоживання. У табл. 1 наведено дані про споживання електроенергії технологічними механізмами котельні централізованого теплопостачання.

Таблиця 1 – дані про річне електроспоживання котельні централізованого теплопостачання

Місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жов.	Лис.	Груд.
Електрична енергія, кВт·год	85651	75074	65693	9601	4560	9961	9121	9121	8881	23286	41422	61727

За даними табл. 1 на рис. 1 побудовано річний графік електроспоживання котельні централізованого теплопостачання.

З наведеної діаграми видно, що електроспоживання котельні має яскраво виражений сезонний характер, і поділяється на зимово-весняний та осінньо-зимовий періоди. Це означає, що гібридна система електропостачання буде мати сезонний режим роботи, і її структурні елементи будуть використовуватись неефективно у випадку її автономного режиму роботи. Це стосується у першу чергу фотоелектричної станції оскільки у весняно-літній період вона може генерувати максимальну кількість електроенергії. Отже гібридна система електропостачання для підвищення її ефективності має бути інтегрована в

централізовану електромережу.

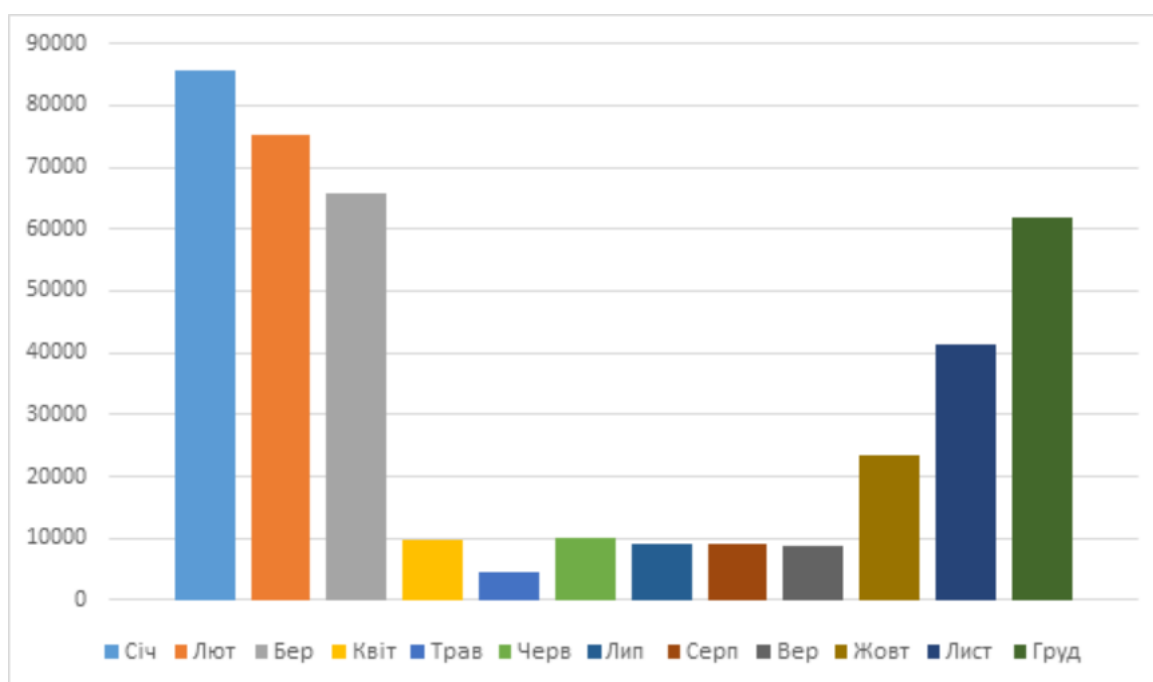


Рисунок 1 – Річний графік електроспоживання котельні

У табл. 2 наведено дані про місячне споживання електроенергії технологічними механізмами котельні.

Таблиця 2 – дані про місячне електроспоживання котельні централізованого теплоспостачання

Число	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ел.енергія кВт·год	3500	3300	3400	3500	3300	2000	2000	3400	3300	3300	3500
Число	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Ел.енергія кВт·год	3500	2000	2000	3500	3400	3500	3300	3300	2000	2000	3500
Число	23	24	25	26	27	28	29	30	31	-	-
Ел.енергія кВт·год	3400	3300	3300	3500	2000	200	3500	3400	3300	-	-

За даними табл. 2 побудовано графік місячного електроспоживання котельні централізованого теплоспостачання.

З наведеної діаграми на рис. 2 видно, що електроспоживання котельні має щотижневий циклічний характер в якому під час робочих днів електроспоживання є стабільним в той же час під час вихідних днів мають місце

зниження електроспоживання майже на половину. Отже місячний графік електроспоживання не створює особливих вимог до структури та потенціалу гібридної системи електропостачання. В той же час така гібридна система може постачати електроенергію в централізовану електромережу у вихідні дні коли електроспоживання котельні знижується.

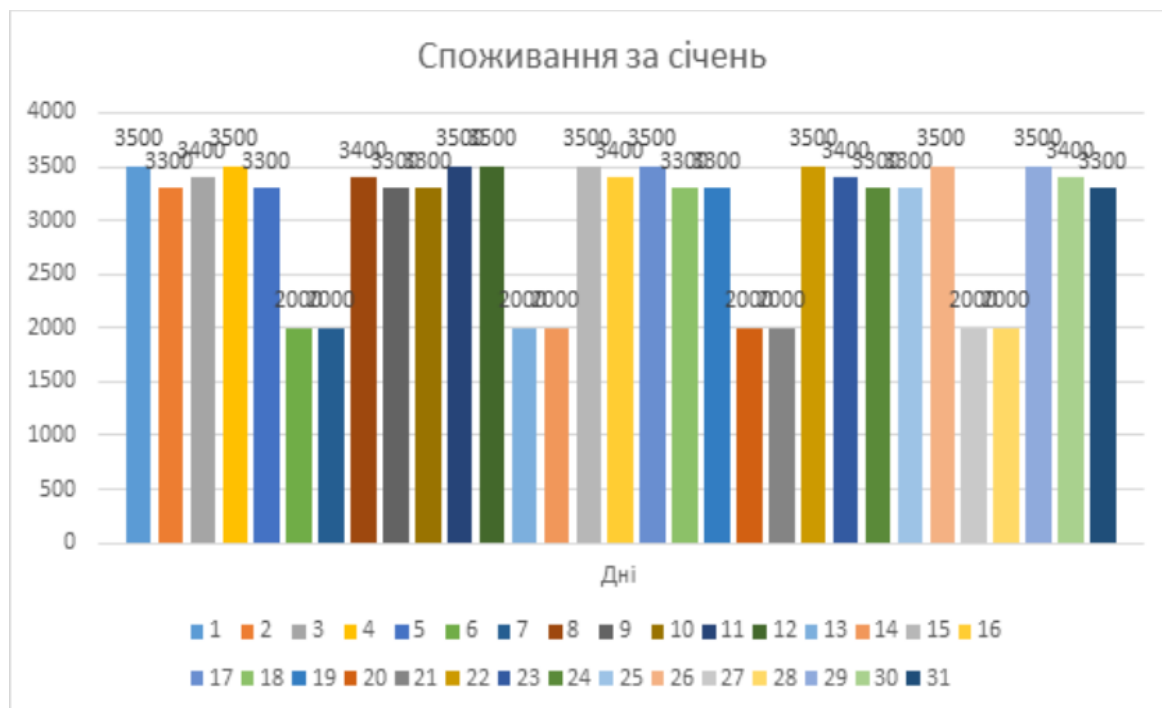


Рисунок 2 – Місячне споживання електроенергії технологічними механізмами котельні

У табл. 3 наведено дані про середнє споживання електроенергії в день для найбільш холодного місяця.

Таблиця 3 – Дані про погодинне електроспоживання котельні централізованого теплопостачання

Години доби	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
Ел.енергія кВт·год	175	175	175	175	175	175	175	145
Години доби	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
Ел.енергія кВт·год	135	135	135	135	135	125	125	135
Години доби	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00
Ел.енергія кВт·год	145	175	175	175	175	175	175	185

За даними табл. 3 на рис. 3 побудовано графік.

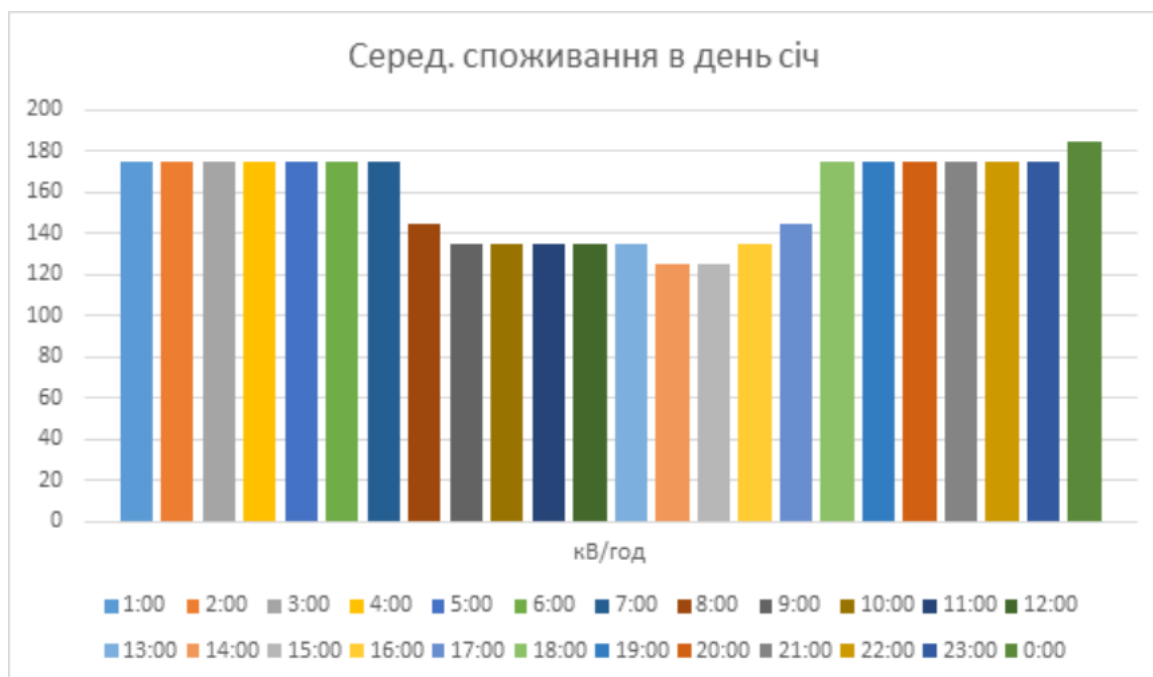


Рисунок 3 – Графік погодинного електроспоживання котельні централізованого теплопостачання

З наведеної діаграми видно, що електроспоживання котельні знижується в нічний час приблизно на 30 %, проте на протязі всього іншого часу є стабільним. В той же час, фотоелектрична генерація у нічний час відсутня і це може викликати необхідність споживання електроенергії з централізованої електромережі. Це означає, що для підвищення економічної ефективності та зниження строку окупності гібридна система електропостачання має бути інтегрована в централізовану електричну мережу.

Аналіз цих графіків дає підстави прийняти рішення про потужність складових гібридної системи яка відповідала б піковим навантаженням, в той же час сезонність електроспоживання призведе до того, що структурні генерації будуть використовуватись неефективно, а інвестиційні проєкти будуть мати значний строк окупності. З іншого боку мають місце інституційні вимоги Європейського Союзу [10] та України [11] щодо структури гібридних систем електропостачання, які в першу чергу пов'язані з екологічними проблемами. Відповідно до цього гібридна система електропостачання котельних ЦТП має складатися з таких компонентів:

1) ФЕ (фотоелектричні панелі) – забезпечують генерацію в денний період та заряджання акумуляторних батарей.

2) ВТ (вітрові турбіни) – ефективні у вечірній і нічний час, особливо взимку, коли потреби у теплі зростають.

3) АБ (акумуляторна батарея) – акумулює надлишкову енергію для подальшого використання під час відсутності генерації.

4) Когенераційна установка – виконує роль головного резервного джерела живлення в аварійних режимах або при пікових навантаженнях.

Таким чином формується загальна концепція роботи гібридної системи централізованого електропостачання котельних як комплексу обладнання, яке забезпечує безперервне живлення технологічного обладнання шляхом інтеграції кількох джерел енергії. Така система може працювати в режимі інтеграції до централізованої мережі або в автономному режимі. В умовах зростаючого попиту на електроенергію та росту цін на енергоносії ця концепція здатна зменшити навантаження на електричну мережу та відкрити нові можливості для її розвитку [12].

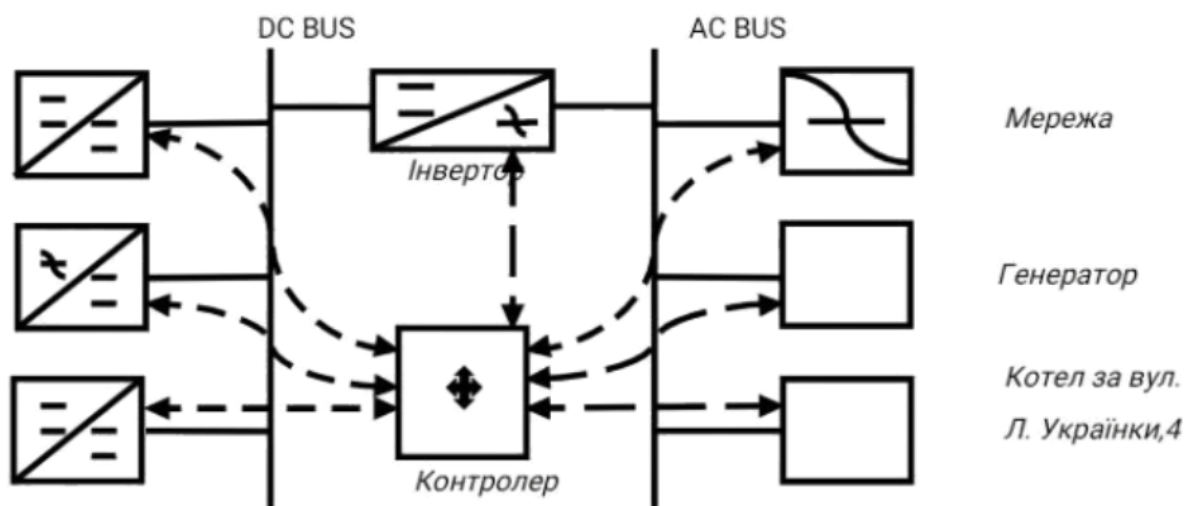


Рисунок 4 – Архітектура гібридної енергосистеми.

Система працює в декількох автоматично керованих режимах, залежно від поточного стану джерел енергії та навантаження котельні.

1) Нормальний режим роботи (збалансований) – протягом дня ФЕ-панелі

забезпечують основну частину споживання електроенергії. Надлишком електричної енергії заряджається акумуляторна батарея або подається частково на експорт на зовнішню мережу. Вітрові турбіни працюють додатково, забезпечуючи стабілізацію потужності при зміні сонячної радіації. Потік енергії відбувається таким чином: $ФЕ + ВТ \rightarrow АБ \rightarrow \text{Котельні ЦТП} \rightarrow (\text{надлишок} \rightarrow \text{мережа})$.

2) Вечірньо-нічний режим (зменшена генерація) – у нічний період ФЕ-панелі не працюють, і живлення здійснюється за рахунок енергії яку накопичив акумулятор, вітрових турбін якщо є достатня швидкість вітру, у разі дефіциту – підключення до централізованої мережі або використання генератора. У цьому режимі важливою є система енергоменеджменту (EMS), яка автоматично визначає, коли доцільніше використовувати мережу, а коли – резерв. Потік енергії в такому режимі відбувається за таким чином: $(ВТ + АБ) \rightarrow \text{Котельні ЦТП} \rightarrow (\text{дефіцит} \rightarrow \text{мережа})$.

3) Аварійний або автономний режим роботи – у випадку відключення від зовнішньої мережі система переходить у повністю автономну роботу. Критичні споживачі живляться від акумуляторної батареї до досягнення граничного рівня розряду, після чого автоматично запускається когенераційна установка. Система автоматики керує послідовністю включення споживачів, забезпечуючи пріоритет критичних навантажень (насоси, автоматика, вентиляція). Потік енергії у такому випадку відбувається так: $АБ \rightarrow \text{Котельні ЦТП} \rightarrow (\text{при розряді} \rightarrow \text{Генератор} \rightarrow АБ + \text{Котельні ЦТП})$. 4) Взаємодія з центральною мережею – гібридна система підключається до центральної електромережі через інверторно-комутаційний блок.

Гібридна система електропостачання побудована за такою структурою здатна забезпечувати стійку та постійну роботу котелень і теплових пунктів навіть за умов знеструмлення централізованих електромереж. Використання фотоелектричних сонячних систем та вітрової генерації у складі гібридних систем електропостачання є технічно доцільним і економічно ефективним рішенням для зменшення споживання енергоносіїв та зниження викидів вуглекислого газу та покращення екологічних показників [13].

Основні чинники, що визначають потенціал впровадження гібридних систем:

- 1) наявна теплова інфраструктура та стабільний попит на теплову енергію;
- 2) доступ до паливних ресурсів (природний газ, біомаса, біогаз);
- 3) технічна можливість синхронізації з електромережею;
- 4) економічна доцільність експлуатації когенераційних модулів потужністю 0,5–5 МВт електричної потужності.

За результатами дослідження розроблено методику визначення потенціалу когенераційної установки в гібридній системі електропостачання котельні.

Розрахунок потенціалу когенераційної установки в гібридній системі електропостачання котельні централізованого теплопостачання. JGS 312 GS- N-L : номінальна електрична потужність $P_E = 500$ кВт; номінальна теплова потужність $P_T = 575$ кВт.

В табл. 4 наведено результати на прикладі застосування когенераційної установки JGS 312 GS-N-L електричною потужністю 500 кВт і тепловою потужністю 575 кВт. Потенціал визначено за критерієм річного техніко-економічного ефекту.

Таблиця 4 – Потенціал когенераційної установки в гібридній системі електропостачання котельні

Показники	Од. вимірювання	Обсяг	тариф грн/од	вартість, тис.грн
Споживання газу котлами	м ³	64296	12,4633	771
Споживання газу КГУ на відпуск ТЕ	м ³	69536	12,4633	862
Споживання газу КГУ на відпуск ЕЕ	м ³	69363	16,4428	1140
Споживання електроенергії котельнею	кВт·год	800042	10,1574	8120
Річний техніко-економічний ефект	тис. грн	-	-	6808

Подальші дослідження, що стосуються структури та потенціалу гібридної системи електропостачання мають бути спрямовані на розробку методичних підходів до визначення потенціалу відновлювальних джерел генерації а саме

фотоелектричних станцій та вітрових установок. Що стосується когенераційних установок, дослідження мають бути спрямовані на їх роботу при споживанні газу від біогазових установок, що може бути пов'язано з можливими перебоями в роботі газотранспортних систем.

Висновки з проведеного дослідження. У даній роботі обґрунтовано можливість застосування гібридної системи електропостачання з використанням когенераційної установки та відновлювальних джерел генерації для електропостачання об'єктів комунальної теплоенергетики. В цьому контексті визначено її структуру та потенціал її структурних елементів. Розроблено методику визначення потенціалу когенераційних установок за критерієм техніко-економічної ефективності.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Alireza Haghighat Mamaghani, Sebastian Alberto Avella, Escandon, Behzad Najafi, Alec Shirazi, Fabio Rinaldi. Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148116304967>
2. M. Kuznetsov, O. Melnyk. The influence of instability consumption on the hybrid energy system balance. https://www.researchgate.net/publication/342518245_vpliv_nestabilnosti_spozivanna_na_energetichnij_balans_gibridnoi_energosislemi
3. М. Федірко, М. Горлачук, О. Завитій, О. Кошпаренко. Визначення структури реактивної потужності споживаної електроприводом насосних агрегатів мережі централізованого теплопостачання в контексті проведення енергоаудиту. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 2025. № 2(80). С. 76–81. – Режим доступу: <https://energy.kpi.ua/article/view/327370>
4. Федірко М. М., Бруханський Р. Ф., Брич В., Олішинська Р., Модернізація електроприводу насосних агрегатів мережі централізованого теплопостачання в контексті підвищення їх енергоефективності, <https://dspace.wunu.edu.ua/items/f5054513-03e9-43d0-9811-382e40da9ed2>
5. Katarzyna Stokowiec, Sylwia Wciślik Dagmara Kotrys-Działak. Innovative Modernization of Building Heating Systems: The Economy and Ecology of a Hybrid District-Heating Substation, <https://www.mdpi.com/2411-5134/8/1/43>
6. Victor Okinda, Nicodemus Abungu Odero. Modelling, Simulation and Optimal Sizing of a Hybrid Wind, Solar PV Power System in Northern Kenya. https://www.researchgate.net/publication/319165281_Modelling_Simulation_and
7. Олійніченко О. В. Бялобржеський А. О. Постіл Д.А. Шокар'єв Д.А. Мікромережа з альтернативними джерелами енергії для потреб сільськогосподарських підприємств. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*, 2025. № 8(211). С. 19–39. – Режим доступу: <http://eee.khpi.edu.ua/issue/view/19838>
8. Moh'd Sami S. Ashhab, Hazem Kaylani, Abdallah Abdallah. PV solar system feasibility study, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890412001446>
9. Директива 2012/27/EU Європейського парламенту та Ради від 25 жовтня 2012 р. 14.11.2012 EN I. 315/1. <https://www.rada.gov.ua/>
10. Закон України «Про енергозбереження» [Електронний ресурс] / Відомості Верховної Ради, 1994. № 30. С. 283. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр>
11. R.K. Akikur, R. Saidur, H.W. Ping, K.R. Ulla. Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification: A review,

<https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v27y2013icp738-752.html>

12. O. Erdinc, M. Uzunoglu. Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032111005478>

REFERENCES:

1. Alireza Haghighat Mamaghani, Sebastian Alberto Avella, Escandon, Behzad Najafi, Alec Shirazi, Fabio Rinaldi. Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148116304967>
2. M. Kuznietsov, O. Melnyk. The influence of instability consumption on the hybrid energy system balance. https://www.researchgate.net/publication/342518245_vpliv_nestabilnosti_spozivanna_na_energetichnij_balans_gibridnoi_energosisistemi
3. M. Fedirko, M. Horlachuk, O. Zavytii, O. Koshparenko. Vyznachennia struktury reaktyvnoi potuzhnosti spozhyvanoj elektropryvodom nasosnykh ahrehativ merezhi tsentralizovanoho teplopostachannia v konteksti provedennia enerhoaudytu. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*, 2025. № 2(80). S. 76–81. – Rezhym dostupu: <https://energy.kpi.ua/article/view/327370>
4. Fedirko M. M., Brukhanskyi R. F., Brych V., Olishynska R., Modernizatsiia elektropryvodu nasosnykh ahrehativ merezhi tsentralizovanoho teplopostachannia v konteksti pidvyshchennia yikh enerhoefektyvnosti, <https://dspace.wunu.edu.ua/items/f5054513-03e9-43d0-9811-382e40da9ed2>
5. Katarzyna Stokowiec, Sylwia Wciślik Dagmara Kotrys-Działak. Innovative Modernization of Building Heating Systems: The Economy and Ecology of a Hybrid District-Heating Substation, <https://www.mdpi.com/2411-5134/8/1/43>
6. Victor Okinda, Nicodemus Abungu Odero. Modelling, Simulation and Optimal Sizing of a Hybrid Wind, Solar PV Power System in Northern Kenya. https://www.researchgate.net/publication/319165281_Modelling_Simulation_and
7. Oliinichenko O. V. Bialobrzheskyi A. O. Postil D.A. Shokarov D.A. Mikromerezha z alternatyvnymy dzherelamy enerhii dlia potreb silskohospodarskykh pidpriemstv. *Enerhozberezhennia. Enerhetyka. Enerhoaudyt*, 2025. № 8(211). S. 19–39. – Rezhym dostupu: <http://eee.khpi.edu.ua/issue/view/19838>
8. Mohd Sami S. Ashhab, Hazem Kaylani, Abdallah Abdallah. PV solar system feasibility study, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890412001446>
9. Dyrektyva 2012/27/EU Yevropeiskoho parlamentu ta Rady vid 25 zhovtnia 2012 r. 14.11.2012 EN I. 315/1. <https://www.rada.gov.ua/>
10. Zakon Ukrainy «Pro enerhozberezhennia» [Elektronnyi resurs] / Vidomosti Verkhovnoi Rady, 1994. No 30. S. 283. Rezhym dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/74/94-vr>
11. R.K. Akikur, R. Saidur, H.W. Ping, K.R. Ulla. Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification: A review, <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v27y2013icp738-752.html>
12. O. Erdinc, M. Uzunoglu. Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032111005478>

Стаття надійшла до редакції: 20.08.2025; рецензування: 28.08.2025;

прийнята до публікації 03.09.2025. Автори прочитали і дали згоду рукопису.

The article was submitted on 20.08.2025; revised on 28.08.2025; and accepted for publication on 03.09.2025. The authors read and approved the final version of the manuscript.