

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМ КЛАСТЕРОМ НА ОСНОВІ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Отримано 31 трав. 2023; рекомендовано до публікації 22 чер. 2023
Доступно онлайн 30 чер. 2023

О. В. Зур'ян¹, С. В. Матях²

Автор для кореспонденції: Олексій Зур'ян,
e-mail: alexey_zuryan@ukr.net

¹ канд. техн. наук.
<https://orcid.org/0000-0002-2391-1611>

² канд. техн. наук.
<https://orcid.org/0000-0002-1707-3519>

^{1, 2} Інститут відновлюваної енергетики НАН України, м. Київ, Україна.

² НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна;

Післявоєнне відновлення енергетичної галузі України потребує, зокрема, впровадження інноваційних технологій на основі екологічно чистих відновлюваних джерел енергії. Одним із перспективних напрямів створення децентралізованих систем опалення невеликих міст, поселень та окремих об'єктів різного призначення є застосування комплексних енергосистем на основі низькопотенціальної геотермальної та сонячної теплової енергії. Актуальною задачею під час проектування комплексних локальних систем (кластера) енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії є створення ефективної системи управління. В умовах сьогодення такі системи мають будуватися на основі відповідної елементної бази, сучасної мови програмування, чутливих вимірювальних приладів та ефективних алгоритмів оцінки та прийняття рішень. У роботі представлено діючий макет розробленої й сконструйованої в Інституті відновлюваної енергетики НАН України експериментальної гідротермальної теплонасосної системи, до складу якої входять: система забору низькопотенціальної теплової енергії, тепловий насос, геліосистема та акумулятори теплової енергії. Визначено основні недоліки системи та запропоновані енергоефективні технічні та організаційні рішення. З метою підвищення ефективності роботи кластера розроблена система управління, яка складається з основного модуля та модулів управління окремими підсистемами, функціонально поєднаних між собою. Виконано опис кожного функціонального блока системи. Зроблено висновки, щодо необхідності проведення експериментальних та аналітичних досліджень ефективності застосування запропонованої системи управління кластером, де як джерело відновлюваної теплової енергії використовується низькопотенціальна геотермальна теплота та енергія сонячного випромінювання. Робота проведена в межах виконання науково-дослідного проекту: «Розроблення енергетичних кластерів для забезпечення об'єктів багатоцільового призначення електричною та тепловою енергією з використанням технологій відновлюваної та водневої енергетики (шифр: «Енергогарант»)».

Ключові слова: тепловий насос, теплонасосна система, геліосистема, система управління, модуль управління

HEAT PUMP-BASED ENERGY CLUSTER CONTROL SYSTEM

Received 31 May. 2023; accepted 22 Jun. 2023
Available online 30 Jun. 2023

Oleksii Zurian¹, Sergii Matyah²

Author for correspondence: Oleksii Zurian,
e-mail: alexey_zuryan@ukr.net

¹ Cand. of Tech. Sciences.
<https://orcid.org/0000-0002-2391-1611>

² Cand. of Tech. Sciences.
<https://orcid.org/0000-0002-1707-3519>

^{1, 2} Institute of Renewable Energy NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

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

The post-war recovery of the Ukrainian energy industry requires, among other things, the introduction of innovative technologies based on environmentally friendly renewable energy sources. One of the promising areas for creating

decentralized heating systems for small towns, settlements and individual objects for various purposes is the use of integrated energy systems based on low-grade geothermal and solar thermal energy. An urgent task in the design of complex local systems (cluster) of energy supply using renewable energy sources is the creation of an effective control system. In today's conditions, such systems should be built on the basis of an appropriate element base, a modern programming language, sensitive measuring instruments and effective algorithms for evaluating and making decisions. The paper presents a working layout of an experimental hydrothermal heat pump system developed and constructed at the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, which includes a low-potential thermal energy intake system, a heat pump, a solar system and thermal energy accumulators. The main shortcomings of the system are identified and technical and organizational solutions are proposed for energy efficiency. In order to improve the efficiency of the cluster, a control system has been developed, consisting of the main module and control modules for individual subsystems, functionally interconnected. The description of each functional block of the system is made. Conclusions are drawn about the need to conduct experimental and analytical studies of the effectiveness of the proposed cluster management system, where low-potential geothermal heat and solar radiation energy are used as a source of renewable thermal energy. The work was carried out as part of the research work: "Development of energy clusters to provide multi-purpose facilities with electric and thermal energy using renewable and hydrogen energy technologies (code: Energogarant)".

Keywords: heat pump, heat pump system, solar system, control system, control module

Перелік використаних позначень та скорочень:

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

ТН – тепловий насос

ПЗ – програмне забезпечення

ГВП – гаряче водопостачання

МДТЕ – множина джерел теплової енергії

МТС – множина технічних засобів

МС – множина структур

АСУ – автоматизована система управління

Вступ. Кабінет Міністрів України за поданням Міністерства енергетики схвалив Енергетичну стратегію України до 2050 року, що відображає цілі Європейського зеленого курсу та базується на принципах комплексного підходу до формування та реалізації політики у сфері енергетики.

У Стратегії, зокрема, враховані наслідки повномасштабної війни російської федерації проти України, посилення ролі енергетичної безпеки та зміцнення стійкості енергосистеми, а також наявність новітніх технологій, технічні зміни в енергетичному секторі, світові тренди та інноваційні рішення, вимоги до екологічної безпеки згідно з нормами ЄС та прийнятим зобов'язанням України.

Післявоєнне відновлення різних елементів енергетичної галузі України потребує впровадження інноваційних технологій на основі поєднання в одній системі екологічно чистих місцевих відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Енергетичний кластер з точки зору комплексного застосування різних ВДЕ в одній системі є формою організації, в якій різні види ВДЕ поєднуються та інтегруються для забезпечення стабільного та ефективного енергетичного постачання. У такому кластері різні типи енергії можуть бути вироблені, розподілені та використані відповідно до потреб системи.

До складу енергетичного кластера входять різні ВДЕ, такі як сонячна енергія, вітрова енергія, гідроенергія,

енергія біомаси, геотермальна енергія та інші. Кожне джерело може мати свої переваги та обмеження залежно від регіональних умов, технологічних можливостей та економічних факторів.

Основний недолік відновлюваної енергії – її непостійність. Виробництво як теплової, так і електричної енергії енергетичними установками, що як джерело енергії використовують ВДЕ, залежить як від місця розміщення та умов експлуатації, так і погодно-кліматичних умов, зміна яких має випадковий характер. Тому в локальних енергосистемах з ВДЕ є ризики енергопостачання споживачів, пов'язані з мінливістю енергоносія. Наслідки від цих ризиків полягають у високій ймовірності порушення енергопостачання.

Комплексне застосування різних ВДЕ в одній системі дає змогу забезпечити більш стабільне та незалежне виробництво електроенергії. Наприклад, у ситуаціях, коли одне джерело енергії може бути менш ефективним або недоступним, інші джерела енергії можуть забезпечувати потрібне енергетичне покриття.

Одним із перспективних напрямів є створення комплексної енергосистеми на основі геотермальної та сонячної теплової енергії для теплопостачання об'єктів різного призначення та потужності з використанням теплових насосів.

Підвищення енергетичної ефективності та необхідність ресурсозбереження є злободенними проблемами

майже в усіх країнах світу. Для вирішення цих проблем останніми роками стає актуальною нова енергетична політика, яка ґрунтується на використанні розподіленої енергетики та створенні на її основі енергетичних кластерів.

Питанням підвищення ефективності та надійності роботи комплексних енергетичних систем та її складовим елементам присвячена велика кількість досліджень. У роботі [1] розглянуто технології, методи та засоби перетворення нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії для отримання теплової та електричної енергії або нових видів палива. Дослідження ефективності комбінованого використання енергії вітру, сонця і теплоти Землі виконані авторами в роботах [2, 3] Методичні засади для оптимальної побудови енергетичних комплексів з використанням ВДЕ розглядаються в роботах [4, 5]. Розроблено також математичну модель роботи системи з кількома ВДЕ [6, 7]. Наукове обґрунтування залучення розумних мереж (Smart Grid) в систему управління комплексними енергосистемами на основі ВДЕ викладено в праці [8].

Разом з тим теоретичні й практичні методи побудови енергетичних комплексів з використанням ВДЕ в Україні досі остаточно не відпрацьовані.

В Інституті відновлюваної енергетики НАН України проводяться дослідження в галузі використання ВДЕ, розгорнуто дослідження джерел енергії та приладів для її перетворення, що можуть бути використані в умовах конкретного регіону, вивчаються особливості спільного використання різних ВДЕ для роботи в єдиній системі та різноманітних систем її акумулювання.

Одними з високоефективних пристроїв перетворення низькопотенціальної відновлюваної енергії є теплові насоси. Заразом ефективність роботи теплонасосної системи суттєво залежить від температури на вході до випарника теплового насоса та виході з його конденсатора, що обумовлено стабільністю джерела низькопотенціальної теплової енергії й конструктивними особливостями системи теплозабезпечення будівлі.

Відомо, що підвищити потенціал геотермального низькопотенціального джерела теплової енергії можливо за рахунок введення в контур випарника геотермальної теплонасосної системи додаткового контуру від геліосистеми. Отже, поєднання двох джерел відновлюваної енергії (геотермальної та сонячної) забезпечить більш ефективну та стабільну роботу системи теплопостачання на основі теплового насоса. Водночас у цьому разі важливим питанням стає розробка алгоритмів роботи та структури системи управління енергетичним кластером з урахуванням випадкового характеру факторів, що впливають на стабільність отримання енергії від ВДЕ.

Постановка завдання. Об'єкт дослідження – процес теплообміну між випарником теплового насоса та буферним накопичувачем теплового насоса типу вода-вода

Предмет дослідження – підвищення ефективності комплексної локальної системи (кластера) енергозабезпечення з використанням ВДЕ завдяки впровадженню системи управління енергетичним кластером.

Метою роботи є розробка структури та алгоритму системи управління енергетичним кластером де як джерело відновлюваної теплової енергії використовується низькопотенціальна геотермальна тепла енергія та енергія сонячного випромінювання, а саме:

1. Обґрунтування структури енергетичного кластера.
2. Обґрунтування складу комплексу обладнання та вимірювальних приладів, що використовуватиметься для отримання даних в процесі проведення досліджень.
3. Створення методики проведення досліджень.
4. Визначення перспективи подальших наукових розробок у цьому напрямі.

Виклад основного матеріалу

У методиці побудови енергетичних комплексів з використанням ВДЕ зазвичай головними критеріями їхнього вибору є: загальна потужність системи, вартість енергії, яка виробляється, розміри й вартість застосовуваних енергоустановок, частка заміщення вуглеводневого палива та інше.

Ми проаналізували існуючі методики побудови цих систем. Насамперед тих, що стосувалися як методики вибору оптимального поєднання ВДЕ, так і управління гібридними енергетичними системами з ВДЕ [9].

Система зі змінною структурою та ВДЕ для забезпечення визначеної температури в процесі поставки теплоносія споживачам, як кортеж S , має вигляд:

$$S = \{M_{ДТЕ}, M_{ТС}, M_C\}, \quad (1)$$

де $M_{ДТЕ}$ – множина джерел теплової енергії,

$M_{ТС}$ – множина технічних засобів,

M_C – множина структур.

Для об'єкта енергетики, що представлений у такому вигляді, потрібна також система управління, яка дає змогу вибрати найліпший варіант з можливих запропонованих (залежно від потреб споживача) параметрів теплоносіїв системи й умов навколишнього природного середовища. Тобто дозволяє раціонально забезпечити з представлених множин вибір джерел енергії, технічних пристроїв та структури об'єкта.

Для оцінки ефективності комплексної енергетичної системи, яка використовує альтернативні джерела енергії й має змінювану структуру, запропоновано критерій k , який є відношенням сумарних витрат енергії (електроенергії та енергії органічного палива) для роботи системи до поточної потреби споживача в енергії для забезпечення заданої температури в приміщеннях:

$$k = \min \left(\sum_{i=1}^n E_i \Delta t_i / \left(\int_0^{\tau} Q(t) dt \right) \right), \quad (2)$$

де E_i – первинні енергетичні ресурси, що використовуються системою для забезпечення заданої температури, Дж; $Q(t)$ – поточна нормована потреба в енергії для забезпечення заданої температури, Дж; t – кінцевий часовий інтервал, на якому проходить обмін і споживання енергоресурсів, с; n – кількість різних видів енергетичних ресурсів системи.

Під час розрахунку критерію різні варіанти структур приводяться до однакового корисного ефекту за запропонованою методикою [10].

Інформаційні моделі підсистем відображають статистику системи й інформацію про елементи системи, їхні властивості й відношення між ними.

Моделі станів об'єктів підсистем відображають їхню поведінку в часі, зазвичай виражаються через стани

«увімкнено – вимкнено – несправність» або «відкриття – закриття – несправність» і відповідні переходи. Життєвий цикл контролера має вісім положень, які відображають перевірку працездатності системи, обробку прийнятих сигналів, аналіз змін, вибір конфігурації системи, задавання параметрів регуляторів.

Технологічні алгоритми дозволяють змінити структуру системи залежно від потреб споживача та умов навколишнього природного середовища (евристичний) і на основі критерію оцінки ефективності системи.

Енергетичний кластер формується з окремих «юнітів», які мають самостійні елементи, та має змінну структуру, автономну та комбіновану форму живлення, з використанням можливостей розосередженої генерації та технологій «розумних мереж», будується за модульним принципом з можливістю масштабування до потреб споживача [11]. Кластер, для якого розробляється структура управління у системі, що досліджується, складається з двох юнітів, Y_2 та Y_3 (рис. 1).

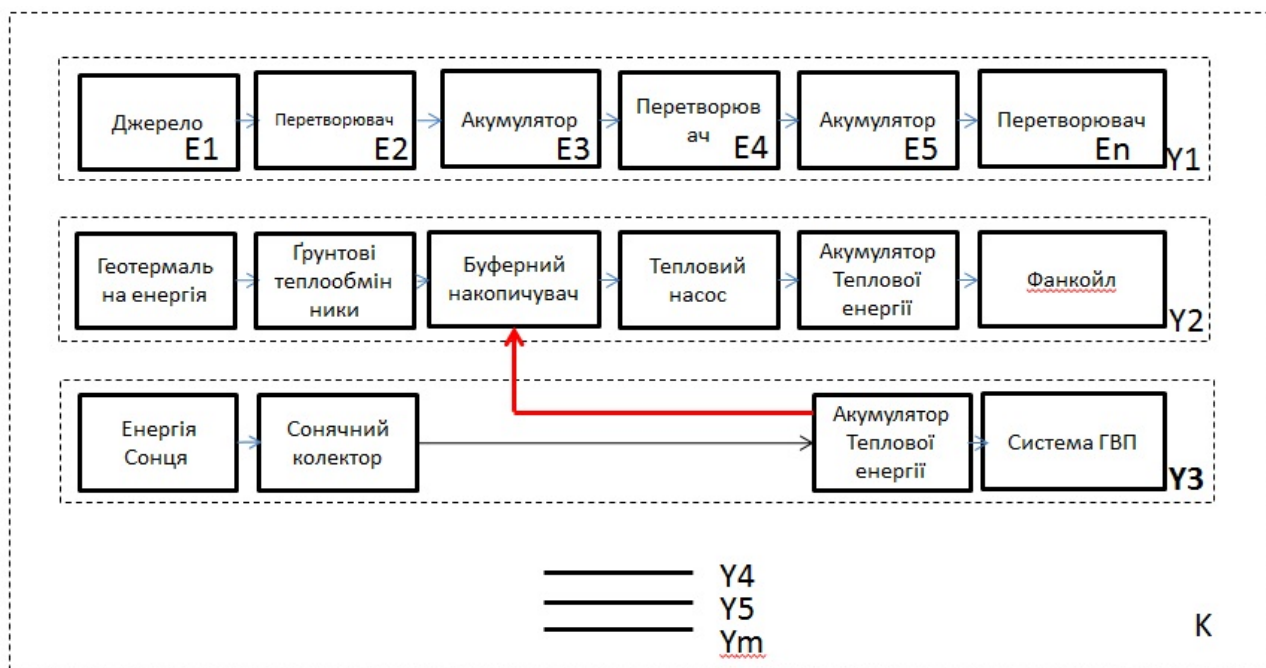


Рис. 1. Структурна схема енергетичного кластера генерування теплової енергії (K), який складається з множини структур (юнітів, Y_1 – Y_m), до складу кожної з яких входить множина елементів (джерел теплової енергії та технічних засобів, E_1 – E_n)

Fig. 1. Structural diagram of the energy cluster of thermal energy generation (K), which consists of set of structures (units, Y_1 – Y_m), each of which includes set of elements (sources of thermal energy and technical means, E_1 – E_n)

Експериментальна установка ІВЕ НАН України є теплообмінним пристроєм, який складається із двох свердловин, з'єднаних трубопроводами, для циркуляції підземних вод між водоносним горизонтом, тепловим насосом, розташованим в будівлі Інституту, та сонячного колектора. Контур конденсатора теплового насоса поєднано з фанкойлами, розташованими в приміщеннях будівлі. При цьому забезпечена конструктивна можливість підключення до контуру випарника теплового насоса буферного накопичувача теплової енергії, об'єм

якого може змінюватися залежно від завдань дослідження та потужності підключених приладів.

Як навантаження для теплового насоса використовувалися фанкойли.

Для підвищення ефективної роботи усіх систем автоматизації прийняття рішення щодо їхнього підключення в оптимальній конфігурації в залежності від усіх наявних теплотехнічних параметрів було поставлено завдання щодо розробки системи управління енергетичного

кластера на тепловому насосі. Для забезпечення її роботи були встановлені додаткові датчики температури та потоку теплоносія, автоматичної запірної арматури й локальних та мережевих модулів управління як окремими підсистемами, так і системою в цілому. Геотермальні теплообмінники, буферний накопичувач, геліосистема, фанкойли, акумулятори теплової енергії та елементи системи управління разом складають елементи системи, що досліджуються (рис. 2).

Тепловий насос – холодильна машина типу «вода-вода». Він забирає низькопотенціальну енергію з навколишнього середовища за допомогою теплоносія, яким у нашому випадку є вода, і передає її з підвищеним потенціалом для забезпечення опалення або кондиціювання у приміщення за допомогою теплообмінних приладів.

Фанкойл – теплообмінний прилад який передає теплову енергію або холод від теплоносія (води) повітря приміщень.

Буферний накопичувач теплової енергії – теплонезольована ємкість, яка відіграє роль акумулятора теплової енергії та стабілізатора теплових навантажень на системі. До акумулятора теплової енергії може бути підключено додаткове джерело теплової енергії для нагріву теплоносія при низьких температурах оточуючого середовища, коли ефективність теплового насоса істотно знижується.

Геліосистема – це пристрій для перетворення енергії Сонця на інші види енергії, наприклад теплову або електричну, за допомогою теплової. Найпоширенішою геліосистемою є сонячний колектор.

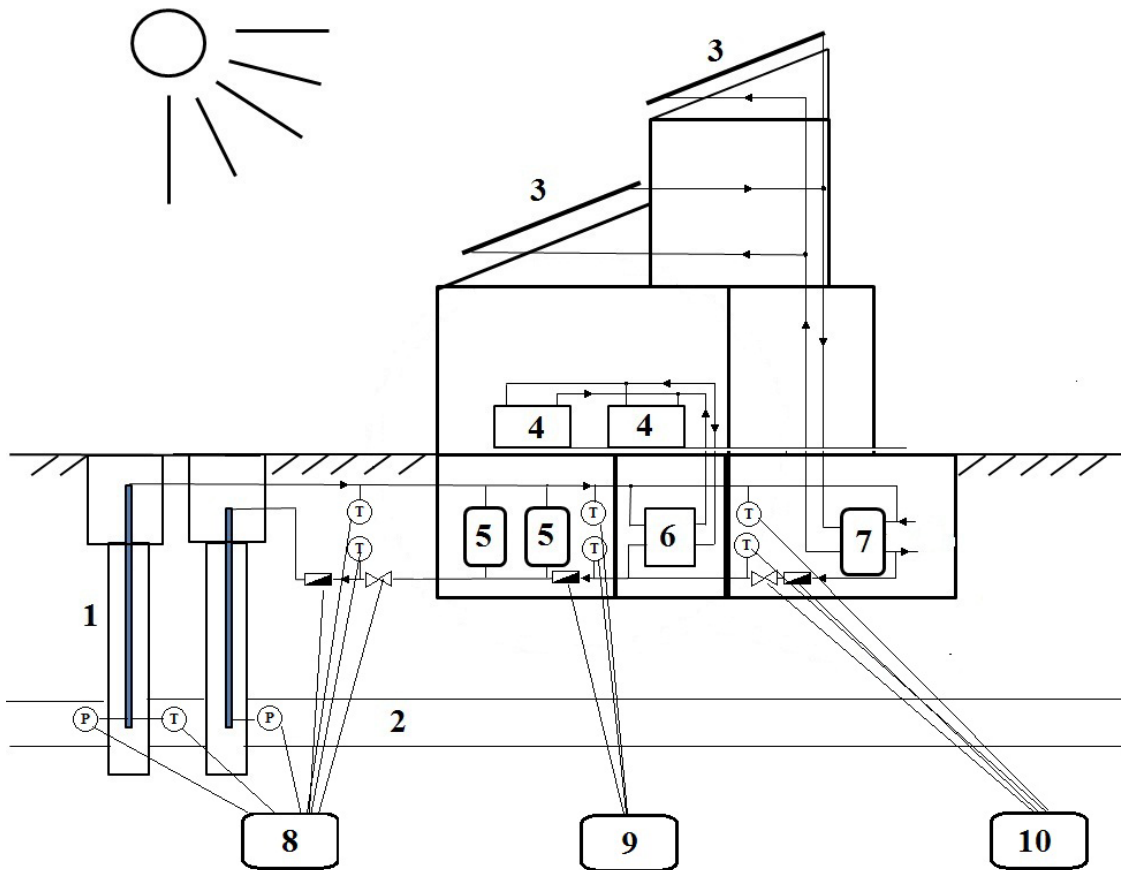


Рис. 2. Експериментальна гідротермальна теплонасосна система Інституту відновлюваної енергетики НАН України: 1 – свердловина; 2 – водоносний горизонт; 3 – сонячний колектор; 4 – фанкойл; 5 – буферний накопичувач теплоносія; 6 – тепловий насос; 7 – акумулятор теплової енергії; 7 – малоємнісна система отримання теплової енергії; 8 – модуль управління підсистемою геотермальних теплообмінників; 9 – модуль управління підсистемою буферного накопичувача теплової енергії; 10 – модуль управління підсистемою сонячного колектора

Fig. 2. Experimental hydrothermal heat pump system of the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine: 1 – well; 2 – aquifer; 3 – solar collector; 4 – fan coil; 5 – coolant buffer storage; 6 – heat pump; 7 – thermal energy accumulator; 7 – low-capacity heat energy production system; 8 – geothermal heat exchanger subsystem control module; 9 – thermal energy buffer subsystem control module; 10 – solar collector subsystem control module

Відповідно до поставленого завдання розроблено проєкт системи управління для комплексної енергетичної системи на основі теплового насоса з використанням теплової енергії, геотермальної, сонячної відновлюваної енергії та енергії навколишнього середовища.

Для дослідження режимів роботи та підвищення ефективності роботи системи комплексної теплонасосної системи розроблена автоматизована система управління та алгоритми її роботи, що дає змогу керувати

енергетичним кластером у таких режимах: автоматичний, напівавтоматичний, ручний.

Алгоритм роботи системи дозволяє на основі аналізу отриманих даних з датчиків та аналізу їхніх параметрів поєднувати систему в такій конфігурації, щоб її ефективність була максимальною при найменших витратах на традиційні енергоносії.

Система управління складається з основного модуля та модулів управління окремими підсистемами, поєднаних між собою (рис. 3).

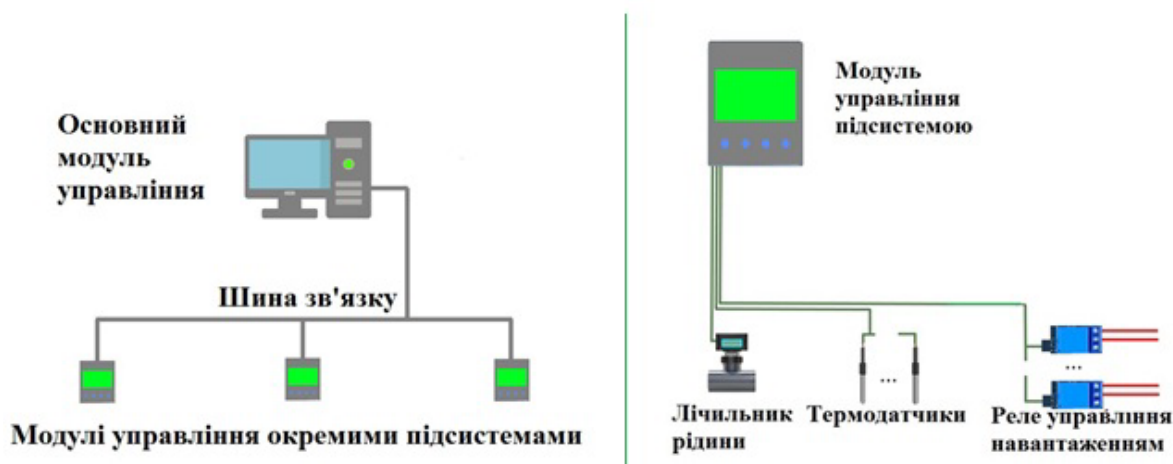


Рис. 3. Система управління енергетичним кластером ІВЕ НАНУ

Fig. 3. Management system of the energy cluster of the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine

Основний модуль управління та збору даних реалізовано на базі персонального комп'ютера з встановленим спеціальним програмним забезпеченням, що виконує такі функції:

- керування режимами роботи модулів управління підсистем;
- отримання даних з модулів управління підсистем в режимі реального часу;

- візуалізація отриманої інформації у вигляді, комфортному для оператора;
- архівування та зберігання отриманих даних з можливістю їхньої подальшої обробки.

Програмне забезпечення основного модуля складатиметься з інтерфейсу користувача та модулів, що реалізують усі вищезазначені функції (рис. 4).

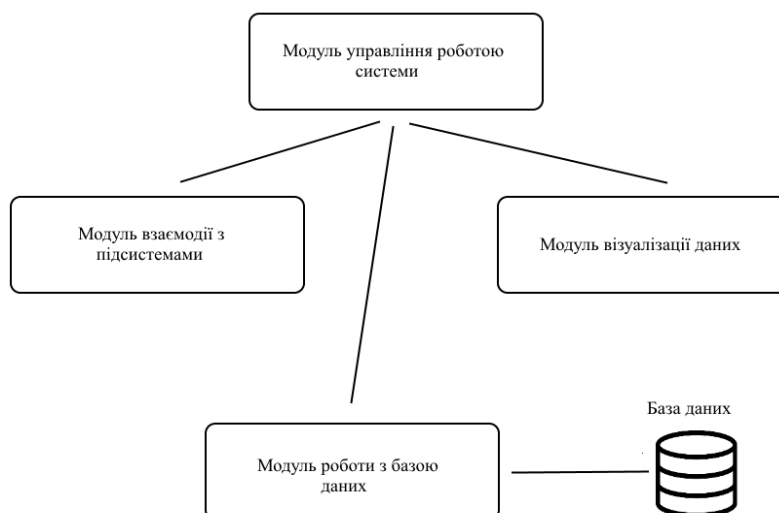


Рис. 4. Склад інтерфейсу основного модуля програмного забезпечення енергетичного кластера

Fig. 4. Composition of the interface of the main module of the energy cluster software

Модуль управління роботою системи реалізує основний цикл управління роботою кластера, обмінюється робочими параметрами з модулем взаємодії з підсистемами та передає дані на обробку модулем роботи з даними.

Модуль взаємодії з підсистемами безпосередньо реалізує прийом і передачу даних між модулем управління та контролерами підлеглих підсистем за провідним протоколом.

Модуль візуалізації дає змогу відображати характеристики перебігу робочих процесів.

Модуль роботи з базою даних реалізує функціонал взаємодії з базою даних результатів роботи кластера.

Модулі управління окремими підсистемами являють собою окремі блоки на основі мікроконтролера з необхідними датчиками, елементами вимірювання показників та елементами керування пристроями.

Для проведення досліджень з використанням теплового насоса та систем відбору низькопотенціальної теплової енергії, де основним робочим тілом, що використовується як теплоносії, є рідина (вода або розчин пропіленгліколю), основними вимірювальними приладами є:

- датчик температури теплоносія;
- лічильник об'єму теплоносія;

Як елементи керування використовуються пристрої, що відповідатимуть за роботу електричних клапанів та запуск двигунів насосів у різних режимах їхньої роботи.

Розроблена система потребує адаптування до конкретних умов роботи та району розташування. Доцільно використовувати та заносити в базу даних системи інформацію щодо температур та дебітів, які були отримані в попередні роки. Актуальним є використання програмного забезпечення, яке самостійно адаптує алгоритм роботи під метеопрогноз та інші можливі зміни навантаження на енергосистему.

Висновки

Використання ВДЕ дає змогу знизити споживання традиційних вуглеводневих енергоносіїв. Декарбонізація, децентралізація і діджиталізація є основними концепціями, без яких неможливий енергетичний перехід і розвиток яких спонукає до пошуку нових енергоефективних рішень з використанням ВДЕ та сучасного програмного забезпечення.

Автоматизована система управління енергозабезпеченням є ефективним механізмом оптимізації споживання енергії. Розроблені методи автоматизованої системи управління передбачають можливість адаптації до різних кліматичних зон та погодних умов і можуть стосуватися як автономних об'єктів, так і інтегрованих до об'єднаної енергосистеми.

В умовах воєнного часу за наявності можливості дистанційного доступу автоматизовані системи можуть бути вразливими перед атаками хакерів або кіберзлочинців.

Мають перспективу подальші дослідження з наукового обґрунтування методів розрахунку під час проектування систем тепlopостачання об'єктів та споруд різного призначення з використанням сонячної енергії та теплоти навколишнього середовища, інших відновлюваних джерел, з резервуванням за рахунок акумулювання енергії, а також розробка практичних рекомендацій щодо побудови таких енергосистем.

ПОСИЛАННЯ

1. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Київ: НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», 2012. 489 с.
2. Кудря С. О., Морозов Ю. П., Кузнецов М. П. Дослідження ефективності комбінованого використання енергії вітру, сонця і теплоти Землі для отримання водню при електролізі води. Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях: Тези доп. наукової звітної сесії НАН України. 2013. Київ.
3. Матях С. В., Суржик Т. В., Резцов В. Ф. Визначення ефективності впровадження систем сонячного гарячого водопостачання. Відновлювана та воднева енергетика. 2020. № 1 (60). С. 17–22.
[https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1\(60\).17-22](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1(60).17-22)
4. Зур'ян О. В. Комбіновані енергосистеми для ефективного отримання екологічно безпечної енергії. Екологія та промисловість. 2016. № 3. С. 96–100.
5. Тимчук С. О. Прийняття оптимальних рішень при керуванні гібридними електричними мережами з відновлювальними джерелами енергії. / С. О. Тимчук, В. В. Шендрик, С. О. Шендрик, О. В. Шулима / Електромеханічні і енергозберігаючі системи. 2016. № 2 (34). С. 55–61.
6. Зур'ян О. В. Екологічно безпечні відновлювані джерела отримання теплової енергії. Укр. Держ. геологорозвідувальний ін-т [Електронний ресурс]: автор дисертації Зур'ян О. В. Режим доступу: http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/dis_Zurian.pdf
7. Tiba C., Candeias A.L.B., Fraidenraich N. et al. A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil. Renewable Energy. 2010. № 35 (12). P. 2921–2932.
8. Dagdougui H., Minciardi R., Ouammi A. et al. A dynamic optimization model for smart micro-grid: integration of a mix of renewable resources for a green building // Proceedings of the 2010 International Congress on Environmental Modelling and Software. Canada: Ottawa. 2010.
9. Зур'ян О. В. Експериментальні дослідження теплового режиму гідротермальної теплонасосної системи. Відновлювана енергетика. 2021. 4 (67). С. 77–89.
[https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4\(67\).77-89](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67).77-89)

10. Максименко І. М. Автоматизація систем забезпечення заданої температури з альтернативними джерелами енергії: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.07 "Автоматизація технологічних процесів" / І. М. Максименко. Одеса. 2007. 20 с.
11. Зур'ян О. В., Олійніченко В. Г. Ефективність роботи буферного накопичувача гідротермальної теплоснабчої системи як акумулятора теплової енергії. Відновлювана енергетика. 2023. 1 (72). С. 69–80. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1\(72\).69-80](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1(72).69-80)
7. Tiba C., Candeias A.L.B., Fraidenraich N. et al. A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil. *Renewable Energy*. 2010. № 35 (12). P. 2921–2932.
8. Dagdougui H., Minciardi R., Ouammi A. et al. A dynamic optimization model for smart micro-grid: integration of a mix of renewable resources for a green building. *Proceedings of the 2010 International Congress on Environmental Modelling and Software*. Canada: Ottawa. 2010.
9. Zurian. O. V. Eksperymentalni doslidzhennia teplovoho rezhymu hidrotermalnoi teplonasosnoi systemy. [Experimental studies of the thermal regime of the hydrothermal heat pump system]. *Vidnovliuvana enerhetyka*. 2021. 4(67). 77–89. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4\(67\).77-89](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67).77-89)

REFERENCES

1. Kudria S. O. Netradytsiini ta vidnovliuvani dzherela enerhii. [Non-traditional and renewable energy sources] – Kyiv.: NTUU «KPI» «Politehnika». 2012. 489 s.
2. Kudria S. O., Morozov Yu. P., Kuznietsov M. P. Doslidzhennia efektyvnosti kombinovanoho vykorystannia enerhii vitru, sontsia i teploty zemli dlia otrymannia vodniu pry elektrolizi vody. Voden v alternatyvnykh enerhetytsi ta novitnikh tekhnolohiiakh [Research on the effectiveness of the combined use of wind, sun and earth's heat to obtain hydrogen during water electrolysis. Hydrogen in alternative energy and the latest technologies]: Tezy dop. naukovoї zvitnoi sesii NAN Ukrainy. 2013. Київ.
3. Matiakh, S. V., Surzhyk, T. V., Reztsov, V. F. Vyznachennia efektyvnosti vprovadzhennia system soniachnogo hariachoho vodopostachannia [Determining the effectiveness of the implementation of solar hot water supply systems]. *Vidnovliuvana ta vodneva enerhetyka*. 2020. № 1 (60). 17–22. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1\(60\).17-22](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1(60).17-22)
4. Zurian O.V. Kombinovani enerhosystemy dlia efektyvnoho otrymannia ekolohichno bezpechnoi enerhii. [Combined energy systems for efficient production of environmentally safe energy] *Ekolohiia ta promyslovist*. 2016. № 3. С. 96–100.
5. Tymchuk S. O. Pryiniattia optimalnykh rishen pry keruvanni hibrydnymy elektrychnymy merezhamy z vidnovliuvannykh dzherelamy enerhii [Making optimal decisions when managing hybrid electrical networks with renewable energy sources]. \ S. O. Tymchuk, V. V. Shendryk, S. O. Shendryk, O. V. Shulyma \ *Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy*. 2016. №2(34). С.55-61.
6. Tymchuk S. O. Pryiniattia optimalnykh rishen pry keruvanni hibrydnymy elektrychnymy merezhamy z vidnovliuvannykh dzherelamy enerhii. [Environmentally safe renewable sources of heat energy] / S. O. Tymchuk, V. V. Shendryk, S. O. Shendryk, O. V. Shulyma. *Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy* http://www.niiep.kharkov.ua/site/s/default/files/dis_Zurian.pdf
10. Maksymenko I. M. Avtomatyzatsiia system zabezpechennia zadanoi temperatury z alternatyvnymy dzherelamy enerhii. [Automation of systems for providing a set temperature with alternative energy sources]: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk: spets. 05.13.07 "Avtomatyzatsiia tekhnolohi-chnykh protsesiv" / I. M. Maksymenko. Odesa, 2007. 20 s.
11. Zurian O. V., Oliinichenko V. H. Efektyvnist roboty bufernoho nakopychuvacha hidrotermalnoi teplonasosnoi systemy yak akumulatora teplovoi enerhii. [The efficiency of the buffer storage of the hydrothermal heat pump system as a thermal energy accumulator] *Vidnovliuvana enerhetyka*. 2023. 1 (72). 69–80. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1\(72\).69-80](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1(72).69-80)