

Ю. А. Селіхов, к.техн.н., професор, К. О. Горбунов, к.техн.н., професор,
В. А. Стасов, магістр

ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТИ ГІБРИДНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: гібридна енергетична установка, приватне домоволодіння, електроенергія, гаряче водопостачання, опалення, гаряче повітря, електричний водонагрівач, вітроелектрогенератор, органічне паливо, теплова енергія, теплове навантаження, державна електромережа, навколишнє середовище, система автоматизації.

Постановка задачі. Криза 70-х років змусила розвинуті держави підрахувати запаси традиційних джерел енергії та виявилось, що ці запаси не безмежні. Це призвело до необхідності шукати нові, і переважно відновлювані джерела енергії [1].

Найбільш корисним виявилось поєднання кількох видів енергії, одержуваної при згорянні кам'яного вугілля, сонячної, теплової та фотоелектричної енергії, енергії вітру, атомного ядра, океану, енергії, що видобувається з біомаси, та деяких інших джерел. За існуючого рівня науково-технічного прогресу енергоспоживання може бути покрито лише за рахунок використання органічних палив (вугілля, нафти, газу), гідроенергії та атомної енергії. Однак, за результатами численних досліджень, органічне паливо в недалекому майбутньому може задовольнити запити світової енергетики лише частково. Залишок енергоспоживання може бути задоволений за рахунок інших джерел енергії – не-традиційних та відновлюваних [2].

В Україні ринок "теплоенергетичних установок" сьогодні перебуває на початковій стадії розвитку. Зважаючи на те, що сонячна енергетика особливо приваблива для Півдня України і відповідає його інтересам, в аспекті енергонезалежності, де можна було б на реальних об'єктах у повному масштабі і наочно демонструвати можливості відновлюваної сонячної енергетики, спираючись на світовий досвід. Для численних новобудов добре спроектовані і правильно встановлені установки могли б підвищити їх імідж і вартість. Електропостачання за рахунок впровадження вітроустановок, автономне постачання гарячої води за рахунок електричних водонагрівників для побутових цілей або опалення за допомогою теплових насосів - природний і простий метод заощадження енергії та збереження запасів викопного палива. Адже практично сонячну енергію в цьому регіоні ефективно можна використовувати протягом 8 місяців.

Виходячи з історичних коефіцієнтів еластичності зростання енергоспоживання за зростанням ВВП за трьома категоріями споживачів (промисловість, сектор послуг і населення), прогноз споживання електроенергії у 2030 р. у базовому сценарії складе 331 ТВт•год. Але з урахуванням впровадження ініціатив щодо енергозбереження прогноз споживання електроенергії у 2030 р. у базовому сценарії знижується до 282 ТВт•год (включаючи експорт, втрати і власне споживання електростанцій) при середньому щорічному зростанні на рівні 2,0 %. Таке співвідношення зростання ВВП і динаміки споживання електроенергії відповідає показникам, характерним для ринків, які проходять етап інтенсивного розвитку. Сьогодні електроємність ВВП України в декілька разів перевищує аналогічний показник європейських країн. Однією з причин цього є структура укра-

їнської економіки, яка здебільшого складається з електроємних галузей, а також надмірно високі витрати електроенергії на виробництво одиниці продукції. Висока електроємність також викликана істотним технологічним відставанням багатьох галузей промисловості та житлово-комунального господарства та високим зношенням основних фондів.

Держава має стимулювати розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для зниження використання викопних паливних ресурсів і негативного впливу на навколишнє середовище. Разом із тим, розвиток ВДЕ в довгостроковій перспективі має відбуватися на основі економічної конкуренції із традиційними джерелами енергії без державного дотування сектору ВДЕ або суміжних галузей. Зниження коефіцієнтів «зеленого тарифу» зумовлене зниженням собівартості будівництва об'єктів, призначених для генерації з ВДЕ, і відповідно, дозволить зберегти природний темп розвитку ВДЕ.

Держава має забезпечувати відповідність темпу зростання потужності ВДЕ темпам розвитку маневрових потужностей і технологічних характеристик енергосистеми України для збереження її надійної роботи. Для цього потрібно розробити і впровадити механізм участі власників електростанцій з ВДЕ у фінансуванні будівництва маневрових потужностей, магістральних і розподільних мереж, необхідних для функціонування цих електростанцій [3].

Однією з причин обмеженого використання відновлюваних джерел енергії є дискретність енергетичних потоків – періодичність нахвощення та змінність енергетичного потенціалу, що до останнього часу спричиняло значні ускладнення в багатьох випадках їх використання і не відповідало сучасним вимогам щодо енергопостачання споживачів. Крім того, в процесі широкомасштабного впровадження обладнання відновлюваної енергетики постає проблема створення регулюючих потужностей на основі традиційних енергосистем для забезпечення стабільного енергопостачання в періоди відсутності енергії ВДЕ. Безумовно, в деяких випадках така необхідність є цілком виправданою, однак у даний час в рамках відновлюваної енергетики існує цілий ряд технічних засобів та методів вирішення проблеми, в тому числі за рахунок використання електричної та теплової енергії.

Високі техніко-економічні показники застосування ВДЕ, стабільні робочі параметри енергетичного обладнання і надійне енергоживлення споживачів досягаються при комбінованому виробленні електричної і теплової енергії, комплексному її акумулюванні в поєднанні з технологіями традиційної енергетики. Для зниження флуктуації параметрів енергосистеми і підтримки необхідних робочих параметрів комбінованого енерговузла необхідно передбачити допоміжне обладнання, у тому числі для автоматичного управління режимами роботи [4–7].

Таким чином, впровадження відновлюваних джерел енергії замість традиційних джерел енергії є актуальною задачею, яка дозволить зробити найбільш чистим навколишнє середовище.

Мета статті. Зробивши аналіз роботи окремих відновлюваних джерел енергії нами був зроблений висновок, що треба розробити таку гібридну енергетичну установку, в якій буде використовуватись енергія вітроелектрогенератора для постачання електроенергії, електричного водонагрівника для постачання гарячої води та геотермального ґрунтового теплового насосу «ґрунт-вода» для опалення приватного домоволодіння з цілодобовим комп'ютерним керуванням. Для цього був обраний в якості прототипу двоконтурний котел з газовим пальником, який забезпечував приватне домо-

господарство гарячою водою та опаленням. Електрикою приватне домогосподарство забезпечувалось з державної магістральної електромережі. Зробивши аналіз роботи двоконтурного котла та електрики були визначені недоліки цієї системи. 1. З огляду на пристрій двоконтурного котла варто розуміти, що будинки з подачею гарячої води від бойлера або від міської системи водопостачання можуть обійтися і одноконтурним приладом, який обійдеться дешевше. 2. Мінусом даних приладів є те, що контури неспроможні працювати окремо друг від друга. І якщо раптом ви захочете підігріти воду влітку, не опалюючи житло, зробити це у вас не вийде. 3. Тепер опалювальне обладнання оснащують пальниками закритого типу. Подібні котли називають «турбованими». Для їх експлуатації потрібно монтаж компактних димоходів, які нерідко виводять прямо за стінку, коли будинок тільки будується. Через димохід видаляються продукти, що утворилися в процесі горіння палива, які забруднюють навколишнє середовище. 4. Тарифи на газ для населення з кожним роком зростають. 5. Складний пристрій закритого газового пальника для побутового котла має складну конструкцію, що ускладнює ремонтні роботи. 6. Чим більше деталей, тим частіше ламається обладнання. 7. «Турбований» агрегат коштує на 10–15 % дорожче порівняно з атмосферними аналогами. 8. Підвищений рівень шуму, який залежить від обраної модифікації. Вбудований в систему вентилятор сильно гуде. 9. У разі відключення електрики обладнання припиняє роботу. Вирішити цю проблему допоможе придбання джерела безперебійного живлення. 10. Найпростішим вважається спосіб розпалювання з гнотом – з палаючим запальником. При спрацьовуванні автоматики, газ підпалюється гнотом, після чого прилад починає гріти воду. Негативних моментів у цьому два – підвищена витрата палива та недостатній ступінь безпеки, оскільки запальник може згаснути. Первинний розпал виконується сірниками або із застосуванням п'єзоелемента. Другим способом є електронний розпал газового приладу – його забезпечує високовольтний перетворювач, енергія для якого надходить за рахунок електрики або батарейок. 11. Живлення електроенергією здійснюється за допомогою магістральної електромережі, яка може відключатися.

Розглянувши усі недоліки вище наведеної технологічної схеми нами було прийняте рішення: 1) замінити двоконтурний котел з газовим пальником на систему, що забезпечує приватне домоволодіння: гарячою водою за допомогою електричного водонагрівника; опалювання за допомогою геотермального ґрунтового теплового насоса «ґрунт-вода»; батареї опалювання на водяну теплу підлогу; магістральну електромережу на вітроенергетичну установку; 2) поліпшити конструкцію системи опалювання, застосувавши нове обладнання; 3) підвищити ККД теплового насоса за рахунок застосування нових матеріалів, теплоносіїв та іншого допоміжного обладнання; 4) виконати оптимізацію, інтеграцію та автоматизацію основних вузлів теплового насосу; 5) удосконалити роботу енергетичної установки за допомогою комп'ютерного керування; 6) зменшити вагтість установки за рахунок зниження матеріалоємності установки, застосування нових матеріалів і встановлення нового обладнання; 7) зробити теплотехнічні розрахунки теплового насосу; 8) зробити розрахунки вітроенергетичної установки; 9) розробити нову технологічну схему.

Для виконання поставлених умов видається доцільним розробка таких гібридних комбінованих конструкцій енергетичних установок, які дозволяють мінімізувати витрати на їх виготовлення, монтаж, обслуговування та ремонт. Це може досягатися за рахунок використання дешевих вітчизняних матеріалів, випуск яких гарантовано в достатніх обсягах протягом тривалого терміну. У разі виходу із ладу такої енергетичної установки, в якості дублюючого джерела, використовуються існуючі традиційні джерела тепlopостачання (котельне обладнання і електронагрівальні установки) [8].

Нами був зроблений: розрахунок потужності теплового насоса [9] для системи опалювання приватного будинку [10] і був обраний тепловий насос марки NIBE F1345; розрахунок потужності електричного водонагрівника для системи гарячого водопостачання домоволодіння; розрахунок номінальної потужності вітрогенератора [11].

Принцип роботи малих вітроенергетичних установок (ВЕУ) даної технології полягає у перетворенні кінетичної енергії вітру в електричну. Вітрова установка має вітроколесо з лопатями, але починає обертатися (рухатися) під впливом вітру, а разом з ним ротор генератора [12]. Вироблений генератором електричний струм надходить на інвертор (або до акумуляторів, а потім на інвертор), де він перетворюється в змінний струм, необхідний для роботи побутових приладів та електропостачання будинку. Схема роботи даної технології показана на рис. 1.

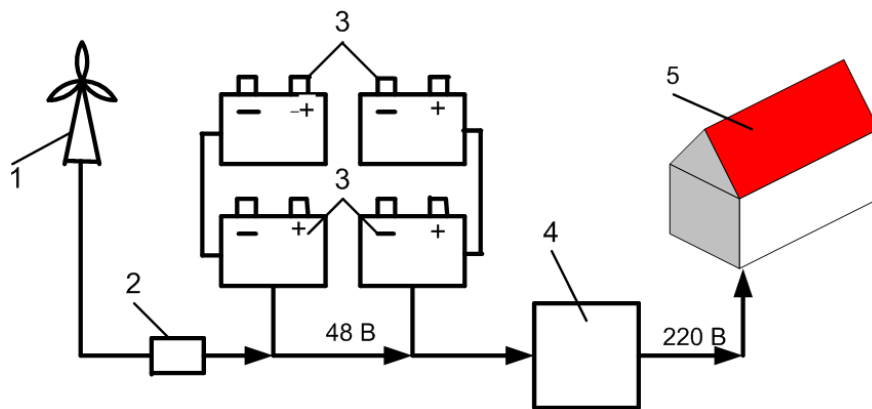


Рисунок 1 – Технологічна схема роботи даної технології

1 – Вітрогенератор (хаотична енергія вітру); 2 – Контролер; 3 – Акумулятори (постійний струм); 4 – Інвертор; 5 – Приватне домоволодіння (змінний струм)

Сучасні пристрої генерують енергію навіть за дуже слабкого вітру – від 3–4 м/с. Для вибору оптимального обладнання та місця розташування вітроустановок перед будівництвом на потенційній ділянці доцільно здійснити виміри швидкості вітру (потенціал) [13].

Вихідними даними для розробки вітроустановки для часткового забезпечення електроенергією приватного домоволодіння був розрахунок середньої швидкості вітру на основі даних про середню швидкість вітру за місяцями в м. Харків [14], що наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Середня швидкість вітру за місяцями

Мі-сяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V_{cp} , м/с	5,06	5,25	5,11	4,44	3,92	3,78	3,67	3,78	4,14	4,39	4,58	4,83

Харків — місто не ідеально рівнинне, проте поблизу Харкова немає ніякої великої височини, яка би суттєво впливала на розу вітрів у місті. Середньорічна швидкість вітру дорівнює 4 м/с. Швидкість вітру дещо знижується у липні-серпні (3,67 м/с) та підвищується у лютому (5,25 м/с).

Згідно отриманих даних була розрахована середня швидкість вітру, м/с, за період, виключаючи 6–9 місяці через низьку швидкість вітру, що знижує економічну доцільність використання вітроагрегату.

$$v_{\text{ср}} = \frac{\sum v_{\text{ср}}}{n} = \frac{5,06 + 5,25 + 5,11 + 4,44 + 3,92 + 4,39 + 4,58 + 4,83}{8} = 4,69,$$

де $v_{\text{ср}}$ – середня швидкість вітру за n -й місяць; n – кількість місяців.

Важливою характеристикою є вертикальний профіль вітру, тобто зміна величини його швидкості за висотою. Тому для узгодження отриманих значень спостереження з висотою розташування вісі ротора застосовують залежність (1), що запропонована Д.Т. Лайхтманом [15]:

$$v = v_1 \cdot \frac{\lg \frac{h}{h_0}}{\lg \frac{h_1}{h_0}}, \quad (1)$$

де v – швидкість на висоті h , що визначається; v_1 – швидкість вітру, що вимірюється біля Землі на висоті h_1 ; h_0 - висота, на якій швидкість вітру дорівнює нулю (вона залежить від шорсткості поверхні: для снігового покриття – 0,5 см; для поверхні з низькою травою – 3,2 см; з більш високими рослинами – 5...7 см; $h_{\text{макс}} = 20$ см). Залежність швидкості вітру від висоти побудована за рівнянням (1) представлена на рис. 2.

Залежність швидкості вітру від висоти зображена на рис. 2

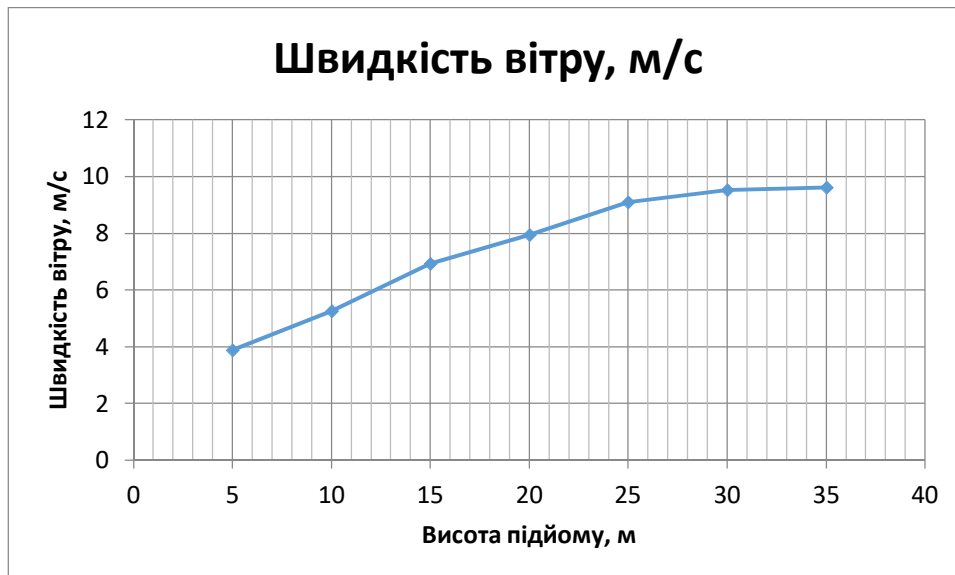


Рисунок 2 – Графік залежності швидкості вітру від висоти

Задля усунення можливих затіненнь вітроустановки перешкодами, піднімаємо на мінімальну висоту опори $h = 15$ м, на цій висоті згідно вище наведеної залежності швидкість вітру дорівнює $v = 6,92$ м/с.

Задля визначення номінальної потужності вітроустановки необхідно визначити часовий розподіл використання енергії споживачем та побудувати графік навантаження за допомогою якого визначається максимальна пікова потужність, що і відповідає номінальній потужності генератора. Детальний розподіл використання енергії споживачем наведений в таблиці 2.

Таблиця 2 – Детальний розподіл використання енергії споживачем

Найменування	Кількість, шт	Потужність, Вт
Водяний насос	5	10000
Апарат хімводоочистки	2	1000
Компресор	1	2000
Холодильник	1	250
Кондиціонер	2	700
Пральна машина	1	2000
Посудомийка	1	800
Кавоварка	1	1100
Мікрохвильовка	1	700
Праска	1	1500
Пилосос	1	700
Бойлер	1	2000
ТБ	2	65
Роутер	2	7
Ноутбук	2	50
Освітлення	20	200
Теплової насос	1	5000
Дрель	1	2000
Болгарка	1	3000

В таблиці 2 зображений детальний розподіл використання енергії споживачем, згідно якому максимальна потужність досягає 10 кВт, додаємо ще 20 %, згідно каталогу генераторів обираємо 12 кВт. Дана потужність може бути розрахована також в залежності від потреб споживача.

Нами була розроблена нова технологічна схема гібридної енергетичної системи гарячого водопостачання та опалення приватного будинку [16].

Зробимо опис роботи нової технологічної схеми, яка представлена на рис. 3.

Нова гібридна енергетична установка може працювати як сезонно, так і цілий рік.

Принцип роботи установки при сезонній роботі в теплу пору року.

Вода із свердловини 1 циркуляційним насосом 2 подається в апарат хімводоочищення 3, де очищується від багатьох солей і надходить в бак-акумулятор 4. Далі циркуляційним насосом 5 вода подається в електричний водонагрівник 6, де нагрівається до

температури 75 °С і далі поступає в бак-акумулятор 7. З бака-акумулятора 7 циркуляційним насосом 9 вода подається у другий контур 10 охолоджувача і другий контур 12 конденсатора ґрунтового теплового насоса «ґрунт-вода» і поступає користувачу 17 на гаряче водопостачання і опалення. Зворотна вода від користувача 17 подається в установку хімоводоочищення 18, де очищається, і циркуляційним насосом 19 по трубопроводам 26 подається в бак-акумулятор 4. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносії у каналізацію 8 (злив води із системи). У разі підвищення температури повітря на вулиці до некомфортної позначки, включається у тепловому насосі режим кондиціонування. Вода із ґрунтового теплообмінного колектора 25 циркуляційним насосом 23 подається в контур теплового полу, охолоджує площу полу і повітря в кімнатах будинку до комфортної температури.

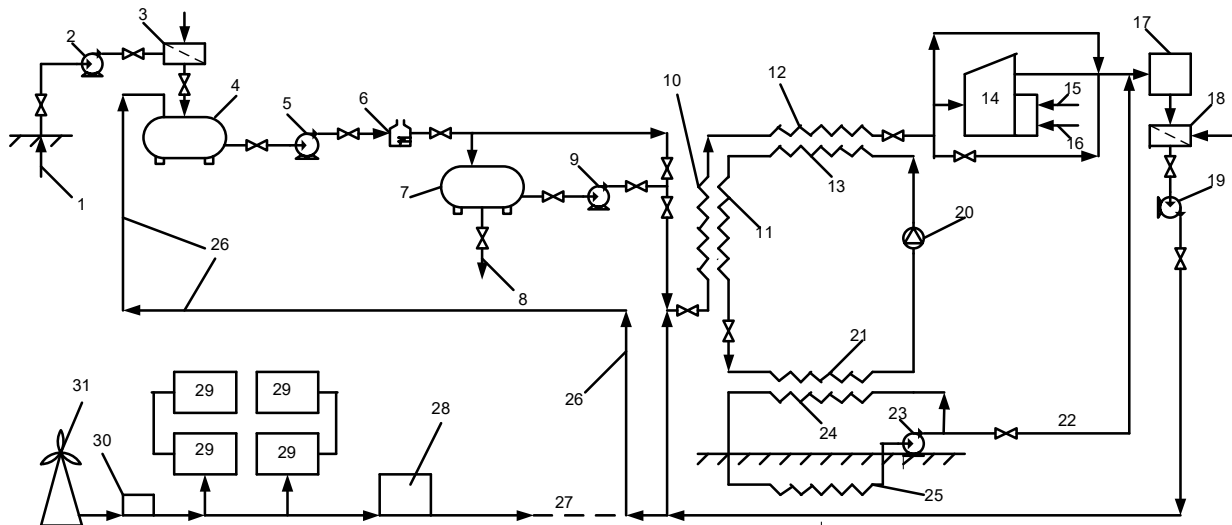


Рисунок 3 – Технологічна схема нової гібридної енергетичної установки

- 1 – Свердловина води; 2 – Циркуляційний насос; 3, 18 – Апарати хімоводоочищення;
- 4 – Бак-акумулятор; 5 – Циркуляційний насос; 6 – Електричний водонагрівник;
- 7 – Бак-акумулятор; 8 – Злив теплоносія з установки; 9 – Циркуляційний насос;
- 10 – Другий контур підігрівача ґрунтового теплового насоса «ґрунт-вода»;
- 11 – Перший контур підігрівача ґрунтового теплового насоса «ґрунт-вода»;
- 12 – Другий контур конденсатора ґрунтового теплового насоса «ґрунт-вода»;
- 13 – Перший контур конденсатора ґрунтового теплового насоса «ґрунт-вода»;
- 14 – Тепловий дублер; 15 – Газовий пальник; 16 – Подача повітря в тепловий дублер;
- 17 – Приватне домоволодіння; 19 – Циркуляційний насос; 20 – Компресор ґрунтового теплового насоса «ґрунт-вода»; 21 – Перший контур випарника ґрунтового теплового насоса «ґрунт-вода»;
- 22 – Трубопровід подачі холодного теплоносія (режим кондиціонування);
- 23 – Циркуляційний насос; 24 – Другий контур випарника ґрунтового теплового насоса «ґрунт-вода»;
- 25 – Теплообмінний колектор теплового контуру ґрунтового теплового насоса;
- 26 – Трубопровід оборотного теплоносія; 27 – Електрокабелі змінного струму 220 В;
- 28 – Інвертор; 29 – Акумулятори постійного струму 48 В; 30 – Контролер; 31 – Вітроустановка

Принцип роботи установки для цілорічної роботи.

В теплу пору року принцип роботи установки показаний вище. А в холодну пору року установка працює таким чином.

Вода з температурою 5–7 °С теплообмінного колектора 25 ґрунтового теплового насоса циркуляційним насосом 23 подається в другий контур 24 випарника теплового насоса, де нагріває холодоагент першого контуру 21, який перетворюється в пару. Пара холодоагенту надходить у компресор 20, де стискається до високої 160 °С температури та тиску. Далі пара надходить у перший контур 13 конденсатора теплового насоса, де віддає своє тепло другому контуру 12 конденсатора [17], в який подається вода циркуляційним насосом 9 з бака-акумулятора 7, або циркуляційним насосом 19 від користувача 17. Таким чином, вода нагрівається спочатку в другому контурі 12 конденсатора, а потім у другому контурі 10 охолоджувача і надходить до користувача 17 з температурою 75 °С. Коли з ладу виходить тепловий насос і електричний водонагрівник 6, то в якості теплового дублера виступає котельна установка 14 з газовим пальником 15 і повітряним наддувом 16, яка підігріває воду до необхідної температури і подає її в систему гарячого водопостачання та опалення приватного домоволодіння. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносій у каналізацію 8 (злив води із системи). Бак-акумулятор складається з теплоізольованого резервуару для зберігання акумулюючого середовища (гарячої води), пристроїв для зарядки і розрядки і допоміжного обладнання. Теплове акумулювання - це фізичні або хімічні процеси, за допомогою яких відбувається накопичення тепла в тепловому акумуляторі енергії. Акумулююча система характеризується способами, якими енергія для зарядки акумулятора відбирається від джерела, трансформується (при необхідності) в необхідний вид енергії і віддається споживачеві.

У вибраних нами баках-акумуляторах відбувається накопичення і пряме акумулювання тепла, оскільки акумулюючою і теплообмінною є одне і те ж середовище [17]. Акумулююча середа може бути твердою, рідкою, газоподібною або двофазною (рідина плюс газ). У нашому проекті акумулююча середа – рідина.

Розроблена та вибрана нами вітроустановка дозволяє забезпечувати приватне домоволодіння з господарством електроенергією та накопичувати її в акумуляторах постійного струму 29 потужністю 48 В. Контролер 30 та інвертор 28 дозволяє подавати необхідну електрику потужністю 220 В через електрокабелі змінного струму 27 в приватне домоволодіння 17.

Таким чином, тепла енергія енергетичної установки гарячого водопостачання складалася з теплової енергії встановленої електричним водонагрівником і теплової енергії теплового насоса і розраховувалася за рівнянням

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \quad (2)$$

Значення кількості використаної теплоти для попереднього підігріву води визначали за формулою

$$Q_1 = G_B \cdot \rho_B \cdot c_B \cdot (t_B'' - t_B'), \quad (3)$$

де G_B – загальна витрата води, що підігрівається, м³/с; ρ_B – щільність води, кг/м³; c_B – питома теплоємність води, кДж/(м³·К); t_B', t_B'' – температура холодної та підігрітої води, відповідно, °С.

Значення кількості використаної теплоти в тепловому насосі визначали за формулою

$$Q_2 = \xi \cdot N_{\text{ЭЛ}}, \quad (4)$$

де ξ – коефіцієнт перетворення теплового насоса; $N_{\text{ЭЛ}}$ – енергія, витрачена для реалізації циклу теплового насоса.

Економію палива у котлоагрегатах за рахунок використання такої системи можна розрахувати за допомогою рівнянь теплового балансу (1–4). Річна економія умовного палива становитиме, т. у. п./рік

$$\Delta B_{\text{рік}} = \frac{Q_{\text{рік}}}{Q_H^P \cdot \eta_K}, \quad (5)$$

де $Q_H^P = 29,33$ МДж/кг – теплотворна здатність умовного палива; $Q_{\text{рік}}$ – річна кількість утилізованої теплоти, МДж/рік; η_K – коефіцієнт корисної дії котла.

Економія органічного палива дорівнює, т/рік (тис. м³/рік):

$$\Delta B = \Delta B_{\text{рік}} \cdot \frac{29,33}{1000 \cdot Q_H^P}. \quad (6)$$

Річна економія за рахунок скорочення витрати первинного палива для підігріву води складе для котельні, грн/рік

$$E_{\text{П}} = \Delta B \cdot C_{\text{П}}, \quad (7)$$

де $C_{\text{П}}$ – вартість первинного палива, грн/т (грн/1000 м³).

Термін окупності енергетичної установки гарячого водопостачання та опалення приватного будинку становитиме рік.

$$T = S_C / (Q_T \cdot C_T), \quad (8)$$

S_C – питома вартість теплоенергетичної системи гарячого водопостачання, грн/м²;

Q_T – річна кількість теплоти, яка вироблена енергетичною установкою, Гкал/м²;

C_T – вартість теплоти від традиційного енергоджерела, грн/Гкал.

Висновки. Нова гібридна енергетична установка забезпечує приватне домоволодіння електроенергією, гарячим водопостачанням, опаленням та гарячим повітрям у необхідному діапазоні температур для комфортного проживання. Спільно з вітроелектрогенератором, електричним водонагрівачем використовується тепловий насос, акумулятори електроенергії та теплоти, що дозволяє: зменшити собівартість теплової енергії за рахунок зниження матеріаломісткості та витрат на обладнання, економити органічне паливо; виробляти електроенергію та надлишок її віддавати в державну електромережу; зменшити теплове навантаження та забруднення навколишнього середовища. Система автоматизації дозволяє керувати гібридною установкою без втручання людини цілий рік.

Термін окупності теплоенергетичної установки становитиме 3,14 року.

Література

1. Городов Р.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Р.В. Городов, В.Е. Губин, А.С. Матвеев. – 1-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 294 с.
2. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент / Пер. с англ. Под ред. М.М. Колтуна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
3. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071. – 166 с.
4. Кудря С.О. Відновлювані джерела енергії / За заг. Ред.. С.О.Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
5. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підр. / С.О. Кудря. К. : НТУУ «ХП», 2012. – 492 с.
6. Селихов Ю.А., Ведь В.Е., Бухало С.И., Костин В.М. Конструкционные особенности увеличения эффективности работы гелиоустановок. - Экотехнологии и ресурсосбережение, Киев, Типография НАН Украины, № 3, 2004 г., с. 70–75.
7. Селихов Ю.А. Горбунов К.О., Стасов В.А. Интеграция работы поновлюваемых джерел енергії для горячего водопостачання та опалювання будівель. ІТЕ №4 2021, С. 3-12.
8. Селихов Ю.А., Коцаренко В.А., Горбунов К.А., Рябова И. Б. Интеграция и оптимизация работы системы отопления коттеджа. – Харьков, ИТЕ №3, 2017, С. 15-20.
9. Васьков Е.Т. Термодинамические основы тепловых насосов: учеб. пособ. / СПб., 2007. – 127 с.
10. Селихов Ю.А., Коцаренко В.А., Горбунов К.А., Рябова И. Б. Интеграция и оптимизация работы системы отопления коттеджа. – Харьков, ИТЕ №3, 2017, С. 15–20.
11. Невичерпна енергія. Вітроенергетика. / В.С. Кривцов, О.М. Олейніков, О.І. Яковлев – Х.: Національний аерокосмічний університет «ХАІ», Севастопольський національний технічний університет, 2004. – 519 с.
12. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
13. Оценка технического уровня ветродвигателей / А.И. Абдуллаев, А.М. Наджафов, А.А. Саламов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ «ХП». – 2013. – №41(1014). – С. 3–6. – Бібліогр.: 7 назв.
14. Клімат Харкова // Харківський регіональний центр з гідрометеорології. URL: <http://kharkiv.meteo.gov.ua/klimat-kharkova/>.
15. да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учебное пособие / А. да Роза; пер. с англ. Под ред. С.П. Малышенко, О.С. Попеля. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект»; М.; Издательский дом МЭИ; 2010. – 704 с.
16. Теплоснабжение: Учебник для вузов / А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов, В.Н. Братенков, Е.Н. Терлецкая; Под ред. А.А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.
17. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочник. Кн.2: Теоретические основы теплотехники. Теплофизический эксперимент. – М.: МЭИ. 2001. – 564 с.

Bibliography (transliterated)

1. Gorodov R.V. Netraditsionnyie i vobnovlyaemyie istochniki energii: uchebnoe posobie / R.V. Gorodov, V.E. Gubin, A.S. Matveev. – 1-e izd. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2009. – 294 p.

2. Farenbruh A., Byub R. Solnechnyye elementy: Teoriya i eksperiment / Per. s angl. Pod red. M.M. Koltuna. – M.: Energoatomizdat, 1987. – 280 p.
3. Energetichna strategiya Ukrayini na period do 2030 r. Shvaleno rozporядzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrayini vid 24.07.2013 # 1071. – 166 p.
4. Kudrya S.O. Vidnovlyuvani dzherela energiyi / Za zag. Red.. S.O.KudrI. – Kiyiv: Institut vidnovlyuvanoyi energetiki NANU, 2020. – 392 p.
5. Kudrya S.O. Netraditsiyini ta vidnovlyuvani dzherela energiyi: pidr. / S.O. Kudrya. K. : NTUU «KPI», 2012. – 492 p.
6. Selihov Yu.A., Ved V.E., Buhkalo S.I., Kostin V.M. Konstruktsionnyie osobennosti uvelicheniya effektivnosti raboty gelioustanovok. – Ekotehnologii i resursosberezhenie, Kiev, Tipografiya NAN Ukrainyi, # 3, 2004 g., p. 70–75.
7. Selihov Yu.A. Gorbunov K.O., Stasov V.A. Integratsiya roboti ponovlyuvanih dzherel energiyi dlya garyachogo vodopostachannya ta opalyuvannya budivel. ITE #4 2021, P. 3–12.
8. Selihov Yu.A., Kotsarenko V.A., Gorbunov K.A., Ryabova I.B. Integratsiya i optimizatsiya raboty sistemyi otopleniya kottedzha. – Harkov, ITE #3, 2017, P. 15–20.
9. Vaskov E.T. Termodinamicheskie osnovyi teplovyih nasosov: ucheb. posob. / SPb., 2007. – 127 p.
10. Selihov Yu.A., Kotsarenko V.A., Gorbunov K.A., Ryabova I.B. Integratsiya i optimizatsiya raboty sistemyi otopleniya kottedzha. – Harkov, ITE #3, 2017, P. 15–20.
11. Nevicherpna energiya. Vitroenergetika. / V.S. Krivtsov, O.M. Oleynikov, O.I. Yakovlev – H.: Natsionalniy aerokosmichniy universitet «HAI», Sevastopolskiy natsionalniy tehničniy universitet, 2004. – 519 p.
12. Haritonov V.P. Avtonomnyie vetroelektricheskie ustanovki. – M.: GNU VIESH, 2006. – 280 p.
13. Otsenka tehničeskogo urovnya vetrodvigateley / A.I. Abdullaev, A.M. Nadzhafov, A.A. Salamov // Visnik NTU «HPI». SerIya: Problemi mehanichnogo privodu. – H.: NTU «HPI». – 2013. – #41(1014). – P. 3–6. – Bibliogr.: 7 nazv.
14. Klimat Harkova // Harkivskiy regionalniy tsentr z gidrometeorologiyi. URL: <http://kharkiv.meteo.gov.ua/klimat-kharkova/>.
15. da Roza A. Vozobnovlyaemyie istochniki energii. Fiziko-tehničeskie osnovyi: uchebnoe posobie / A. da Roza; per. s angl. Pod red. S.P. Malyishenko, O.S. Popelya. – Dolgoprudniy: Izdatelskiy dom «Intellekt»; M.; Izdatelskiy dom MEI; 2010. – 704 p.
16. Teplosnabzhenie: Uchebnik dlya vuzov / A.A. Ionin, B.M. Hlyibov, V.N. Bratenkov, E.N. Terletskaaya; Pod red. A.A. Ionina. – M.: Stroyizdat, 1982. – 336 p.
17. Teploenergetika i teplotehnika: Spravochnik. Kn.2: Teoreticheskie osnovyi teplotehniki. Teplofizicheskiy eksperiment. – M.: MEI. 2001. – 564 p.

УДК 662.997

Ю. А. Селіхов, к.техн.н., професор, К. О. Горбунов, к.техн.н., професор,
В. А. Стасов, магістр

ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТИ ГІБРИДНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Комплексне використання означає використання кількох джерел енергії, усіх одночасно чи в певних комбінаціях. При цьому можливе використання виключно відновлюваних джерел, що значно обмежує можливості користувача. Більш поширеним та виправданим з багатьох точок зору є застосування як відновлюваних, так і

традиційних джерел, автономних (універсальних котлів, дизель-генераторів, газотурбінних установок, тощо) чи централізованих (електромережі) джерел. Коректна оцінка такої комбінованої енергосистеми вимагає врахування також головного компонента системи – споживача, тобто врахувати особливості місцевої мережі та наближених споживачів, що на режим роботи комплексу відновлюваних джерел матиме безпосередній або відчутний опосередкований вплив. Для забезпечення належної якості енергоживлення можуть застосовуватися системи акумуляування енергії, а потреба в них залежить від дискретності енергетичних потоків та вимог до якості живлення. У закордонній термінології комбіновані системи часто називають гібридними, що відображає різноманіття як джерел енергії, так і способів їх поєднання (іноді ця назва поширюється на довільні комплекси). Однак звичайно під терміном «гібридне енергоживлення» мають на увазі поєднання установок, що використовують відновлювані та традиційні джерела енергії.

В статті представлена нова гібридна енергетична установка, яка забезпечує приватне домоволодіння електроенергією, гарячим водопостачанням, опаленням та гарячим повітрям у необхідному діапазоні температур для комфортного проживання. Спільно з вітроелектрогенератором, електричним водонагрівачем використовується тепловий насос, акумулятори електроенергії та теплоти, що дозволяє: зменшити собівартість теплової енергії за рахунок зниження матеріаломісткості та витрат на обладнання, економити органічне паливо; виробляти електроенергію та надлишок її віддавати в державну електромережу; зменшити теплове навантаження та забруднення навколишнього середовища. Система автоматизації дозволяє керувати гібридною установкою без втручання людини цілий рік.

Ключові слова: гібридна енергетична установка, приватне домоволодіння, електроенергія, гаряче водопостачання, опалення, гаряче повітря, електричний водонагрівач, вітроелектрогенератор, органічне паливо, тепла енергія, теплове навантаження, державна електромережа, навколишнє середовище, система автоматизації.

Ю. А. Селихов, к.техн.н., професор, К. А. Горбунов, к.техн.н., професор,
В. А. Стасов, магістр

ИНТЕГРАЦИЯ РАБОТЫ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Комплексное использование означает использование нескольких источников энергии, всех одновременно или в некоторых комбинациях. При этом возможно использование исключительно возобновляемых источников, что значительно ограничивает пользовательские возможности. Более распространенным и оправданным с многих точек зрения является применение как возобновляемых, так и традиционных источников, автономных (универсальных котлов, дизель-генераторов, газотурбинных установок и т.п.) или централизованных (электросети) источников. Корректная оценка такой комбинированной энергосистемы требует учета также главного компонента системы – потребителя, то есть учесть особенности местной сети и приближенных потребителей, что на режим работы комплекса возобновляемых источников будет иметь непосредственное или опосредованное влияние. Для обеспечения надлежащего качества питания могут применяться системы аккумуляирования энергии, а потребность в них зависит от дискретности энергетических потоков и требований к качеству питания. В зарубежной терминологии комбинированные системы часто называют гибридными, отражающими многооб-

разие как источников энергии, так и способов их сочетания (иногда это название распространяется на произвольные комплексы). Однако обычно под термином «гибридное энергопитание» подразумевают сочетание установок, использующих возобновляемые и традиционные источники энергии.

В статье представлена новая гибридная энергетическая установка, обеспечивающая частное домовладение электроэнергией, горячим водоснабжением, отоплением и горячим воздухом в требуемом диапазоне температур для комфортного проживания. Совместно с ветроэлектростанцией, электрическим водонагревателем используется тепловой насос, аккумуляторы электроэнергии и теплоты, что позволяет: - уменьшить себестоимость тепловой энергии за счет снижения материалоемкости и затрат на оборудование, экономить органическое топливо; производить электроэнергию и излишек ее отдавать в государственную электросеть; уменьшить тепловую нагрузку и загрязнение окружающей среды. Система автоматизации позволяет управлять гибридной установкой без вмешательства человека круглогодично.

Ключевые слова: гибридная энергетическая установка, частное домовладение, электроэнергия, горячее водоснабжение, отопление, горячий воздух, электрический водонагреватель, ветроэлектростанция, органическое топливо, тепловая энергия, тепловая нагрузка, государственная электросеть, окружающая среда, система автоматизации.

Yu. A. Selikhov, K. O. Gorbunov, V. A. Stasov

INTEGRATION OF HYBRID ENERGY PLANT OPERATION

Integrated use means the use of several energy sources, all at the same time or in some combination. At the same time, it is possible to use exclusively renewable sources, which significantly limits user capabilities. More common and justified from many points of view is the use of both renewable and traditional sources, autonomous (universal boilers, diesel generators, gas turbine units, etc.) or centralized (power grid) sources. A correct assessment of such a combined energy system also requires taking into account the main component of the system - the consumer, that is, taking into account the features of the local network and nearby consumers, which will have a direct or tangible indirect effect on the operating mode of the complex of renewable sources. To ensure adequate power quality, energy storage systems can be used, and the need for them depends on the discreteness of energy flows and the requirements for power quality. In foreign terminology, combined systems are often called hybrid, reflecting the diversity of both energy sources and methods of combining them (sometimes this name extends to arbitrary complexes). However, the term “hybrid power supply” usually refers to a combination of installations using renewable and traditional energy sources.

The article presents a new hybrid energy system that provides private households with electricity, hot water supply, heating and hot air in the required temperature range for comfortable living. Together with a wind power generator and an electric water heater, a heat pump, electricity and heat accumulators are used, which allows: - reducing the cost of thermal energy by reducing material consumption and equipment costs, saving organic fuel; produce electricity and send the excess to the state power grid; reduce heat load and environmental pollution. The automation system allows you to control the hybrid installation without human intervention all year round.

Keywords: hybrid power plant, private households, electricity, hot water supply, heating, hot air, electric water heater, wind power generator, fossil fuel, thermal energy, heat load, state power grid, environment, automation system.