

Запропонована підтримка співвідношення виробництва та споживання електричної енергії та теплоти на основі когенераційної системи, основою якої складає інтегрована динамічна підсистема з використанням теплонасосного енергопостачання та електроакумуляції. Прийняття рішень на підтримку виробництва та споживання електричної енергії та теплоти на основі прогнозування зміни параметрів технологічного процесу дозволяє знизити собівартість виробництва енергії та шкідливі викиди двоокису вуглецю до 10–15 %

Ключові слова: когенераційна система, електрична енергія, теплота, теплонасосна система, електроакумуляція, прийняття рішень

Предложено поддержание соотношения производства и потребления электрической энергии и теплоты на основе когенерационной системы, основой которой составляет динамическая подсистема с использованием теплонасосного энергоснабжения и электроаккумуляции. Принятие решений на поддержание производства и потребления электрической энергии и теплоты на основе прогнозирования изменения параметров технологического процесса позволяет снизить себестоимость производства энергии и вредные выбросы двуокиси углерода до 10–15 %

Ключевые слова: когенерационная система, электрическая энергия, теплота, теплонасосная система, электроаккумуляция, принятие решений

ПІДТРИМКА СПІВВІДНОШЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ТА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ТЕПЛОТИ НА РІВНІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Є. Є. Чайковська

Кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник, доцент
Кафедра теоретичної, загальної та
нетрадиційної енергетики
Одеський національний
політехнічний університет
пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: eechaikovskaya@gmail.com

1. Вступ

В умовах ресурсо та енергозбереження децентралізоване виробництво енергії на основі когенераційних технологій є актуальним, бо їх застосування дозволяє виробляти як електроенергію, так і теплоту на основі одного первинного джерела енергії. Когенераційні технології використовують наступні основні складові: первинний двигун, електрогенератор, систему утилізації теплоти, систему контролю й управління. В залежності від потреб споживання можливо включати до технологічних схем когенерації у якості первинного двигуна такі енергетичні установки: поршневі двигун, газову турбіну, парову турбіну чи комбінацію парової та газової турбін. Основними перевагами когенераційних систем є збільшення ефективності за рахунок використання утилізованої теплоти, зменшення витрат на передачу енергії, можливість використання біопалива й інших альтернативних видів палива, зниження шкідливих викидів двоокису вуглецю, т. і. Однак, умови когенерації ускладнені необхідністю регулювання співвідношення виробництва електроенергії та теплоти при не постійності їх споживання [1]. Більш того, необхідно враховувати збитковість

виробництва електроенергії в години найменшого використання.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Відомі методи оптимізації енергетичних систем – економічний, ексергетичний, термoeкономіки дозволяють визначати оптимальні умови їх експлуатації на статичному рівні, що ускладнює узгодження виробництва та споживання енергії в реальних умовах функціонування енергетичних систем, у тому числі й когенераційних.

Так, в роботі [2] представлено методику розрахунку відносної економії палива в когенераційних та когенераційно-теплонасосних установках у порівнянні із роздільними засобами виробництва електричної енергії та теплоти. Здобуті на основі методики інтегральні характеристики економічності в широкому діапазоні зміни головних теплотехнічних параметрів дозволяють проводити аналіз ефективності теплових схем щодо вибору оптимального енергетичного обладнання у їх складі, але тільки у статичних режимах. В роботі [3] проведено ексергетичний аналіз на основі

визначення ексергетичних втрат в елементах когенераційної установки. Розглянуто різні схеми когенераційних установок з використанням теплових насосів. При проведенні ексергетичного аналізу прийнято допущення щодо функціонування когенераційної системи за електричним чи тепловим графіком навантаження без узгодження із споживанням. В роботі [4] запропоновано інтегровану систему енергоспоживання, яка забезпечує використання когенераційної установки у статичних режимах на базі газопоршневого двигуна і теплового насосу, викладено методику оптимізації техніко-економічних параметрів теплової схеми на основі ексергоеконеомічного аналізу. Отримано залежності для оцінки термодинамічної й економічної ефективності основних компонентів системи. Визначенню якості функціонування теплонасосних систем у складі когенераційних технологій присвячена робота [5], що також базується на ексергоеконеомічному аналізі для оптимізації статичних режимів, а в роботах [6, 7] встановлені оптимальні термодинамічні показники теплових насосів на частковому навантаженні, але без оцінки співвідношення виробництва та споживання теплоти.

На основі статичної оцінки параметрів технологічного процесу когенерації не завжди можливо забезпечити підтримку співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти в складних умовах не збігу їх споживання. Тому, з цією ціллю використовують ускладнені теплові схеми за рахунок встановлення додаткових теплообмінників, теплоаккумуляторів, т. і. [8]. Так, наприклад, стаціонарні системи гарячого водопостачання на основі когенераційно-теплонасосних технологій мають у своєму складі значний комплекс енергообладнання. У якості низькопотенційного джерела енергії запропоновано використання колектора стічних вод, що також потребує додаткових капіталовкладень [9]. Так, передова когенераційна технологія використовує дороговарті експертні діагностичні системи щодо підтримки виробництва енергії, але без можливості узгодження із споживанням для прогнозування зміни параметрів технологічного процесу [10]. Без можливості прогнозування зміни ефективності теплового насоса запропоновано, наприклад, методику моніторингу, що базується на обмеженому обсягу параметрів, що заміряються [11].

Для підтримки функціонування когенераційних систем необхідно здобути функціональну оцінку співвідношення виробництва та споживання енергії в єдиному інформаційному просторі для можливості прогнозування зміни параметрів технологічного процесу, а не ліквідації наслідків їх зміни [12].

3. Ціль та задачі дослідження

Ціллю роботи є розробка методу інтегрованого прийняття рішень на підтримку співвідношення виробництва та споживання електричної енергії та теплоти.

Відповідно до поставленої цілі поставлені наступні задачі дослідження:

- провести аналіз оптимізації когенераційних технологій та обґрунтування необхідності

функціональної оцінки співвідношення між виробництвом та споживанням енергії;

- запропонувати архітектуру когенераційної системи, основу якої складає інтегрована динамічна підсистема, що включає когенераційну установку, тепловий насос та акумуляторну батарею;
- виконати математичне моделювання динаміки випарника, компресора, конденсатора теплового насоса та електроакумулятора;
- виконати контроль працездатності та ідентифікацію стану систем: випарник-, компресор, компресор-конденсатор теплового насоса та контроль працездатності та ідентифікацію стану електроакумулятора щодо здобуття інформації на рівні прийняття рішень;
- розробити метод інтегрованого прийняття рішень на підтримку співвідношення виробництва та споживання енергії у складі запропонованої когенераційної системи.

4. Підтримка співвідношення виробництва та споживання електроенергії та теплоти на рівні прийняття рішень

У зв'язку з тим, що технології когенерації дозволяють використання утилізованої теплоти, що оцінює зміну як виробництва енергії, так її споживання, та має значно вищий потенціал, ніж теплоносії з навколишнього середовища, доцільно виконувати підтримку співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти на основі теплонасосної системи. Більш того, у зв'язку із нерівномірністю споживання електричної енергії можливо забезпечити функціонування теплонасосної системи за рахунок економічного електроакумулявання в години збиткового виробництва електроенергії.

У зв'язку із тим, що однією з головних властивостей енергетичних систем є їх обов'язковий обмін з оточуючим середовищем речовиною, енергією й інформацією запропоновано архітектуру технологічних систем, основою якої є динамічна підсистема – енергетична система. Представлено методологічне та математичне обґрунтування запропонованої архітектури щодо можливості визначення нових властивостей елементів технологічної системи. З цією ціллю представлено методологію математичного опису динаміки енергетичних систем відносно істотних параметрів, що діагностуються, де зміна параметрів представлена як у часі, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника, що співпадає з напрямком руху потоку середовища. Для виконання динамічною підсистемою функцій контролю працездатності й ідентифікатора стану енергетичної системи розроблено метод графа причинно-наслідкових зв'язків. Представлено термодинамічне обґрунтування допуску як структури та принципу інтелектуального управління тепломасообмінними процесами. Наведено приклади підтримки функціонування енергетичних систем та енергозберігаючих технологій на рівні прийняття рішень [12].

На основі методологічного та математичного обґрунтування архітектури технологічних систем розроблена теплонасосна система енергопостачання, що

дозоляє забезпечувати повне випаровування холодагента для надійної роботи компресора теплового насоса; узгоджувати рівень споживання теплоти з рівнем продуктивності теплового насоса при використанні теплової ємності місцевої води в повній мірі; змінювати рівень потужності компресора теплового насоса щодо економії електроенергії на основі оцінки зміни витрати пари холодагента через компресор [13]. Використання ж інтегрованої інтелектуальної інформації як міри відтворення співвідношення виробництва та споживання енергії в інформаційному просторі: випарник-компресор та компресор-конденсатор дозволяє: не виконувати інерційні виміри параметрів теплоносіїв у випарнику та конденсаторі теплового насоса; приймати рішення на зміну витрати холодагента у випарнику теплового насоса в залежності від температури низькопотенційного джерела енергії для його повного випаровування та забезпечення надійності компресора; узгоджувати рівень витрати холодагента у випарнику із рівнем потужності компресора щодо економного стиску пари; узгоджувати рівень подачі пари у конденсатор теплового насоса із рівнем подачі пари у випарник теплового насоса при використанні ємності води, що нагрівається, в повній мірі; не використовувати додаткові теплові насоси для глибокого охолодження низькопотенційного джерела енергії [14–15].

Так, на основі методологічного та математичного обґрунтування архітектури технологічних систем запропонована технологічна система акумулювання, що дозволяє прогнозувати зміну напруги заряду та розряду з використанням аналітичної оцінки зміни температури електроліту в порах пластин та над пластинами електроаккумулятора, яка змінюється за часом раніше, ніж щільність електроліту та напруга. Використання теплової акумулюючої ємності електроліту зменшує час заряду до 30 % [16].

На основі методологічного та математичного обґрунтування архітектури технологічних систем [12] можливо запропонувати архітектуру когенераційної системи виробництва та споживання енергії, основою якої є інтегрована динамічна підсистема, що включає когенераційну установку, тепловий насос та акумуляторну батарею (рис. 1).

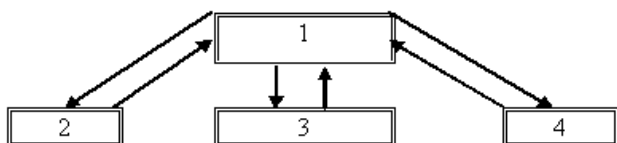


Рис. 1. Когенераційна система виробництва та споживання енергії: 1 – інтегрована динамічна підсистема (когенераційна установка, тепловий насос, акумуляторна батарея); 2 – блок заряду; 3 – блок оцінки функціональної ефективності; 4 – блок розряду

Математичне обґрунтування архітектури когенераційної системи виробництва та споживання енергії:

$$CS = \left\{ \begin{array}{l} D(P(\tau) \langle x_0(\tau), x_1(\tau), x_2(\tau), f(\tau), K(\tau), y(\tau), d(\tau) \rangle, R(\tau), P(\tau)), \\ R(\tau), (P_1(\tau) \langle x_1(\tau), f_1(\tau), K_1(\tau), y_1(\tau) \rangle) \end{array} \right\},$$

де CS – когенераційна система; D – динамічна підсистема; P – властивості елементів когенераційної системи; τ – час, c, x – умови; f – параметри, що діагностуються; K – коефіцієнти математичного опису; y – вихідні параметри; d – динамічні параметри; R – відносини в CS. Індеси: i – число елементів когенераційної системи; 0, 1, 2 – початковий режим, зовнішній, внутрішній характер впливів.

Виходячи із математичного обґрунтування архітектури когенераційної системи представлено інтегровану динамічну підсистему як основу когенераційної системи щодо контролю працездатності й ідентифікації стану складових динамічної підсистеми на основі графа причинно-наслідкових зв'язків (рис. 2.) [12].

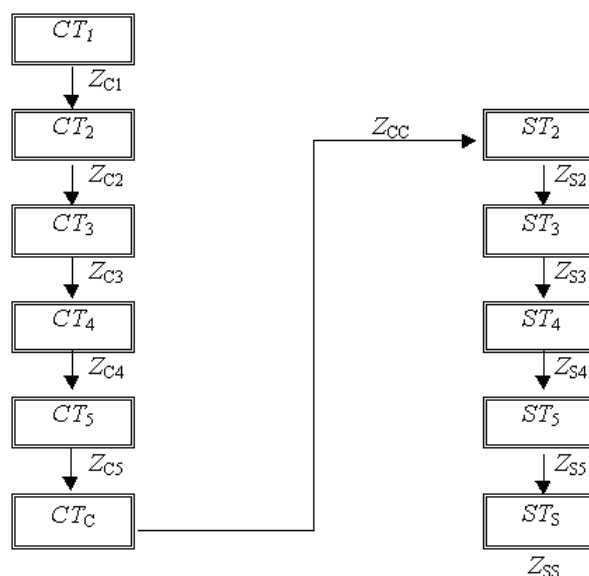


Рис. 2. Граф причинно-наслідкових зв'язків динамічної підсистеми: CT – контроль події; Z – логічні відносини; ST – ідентифікація події. Індеси: 1 – впливи; 2 – внутрішні параметри, що діагностуються; 3 – коефіцієнти рівнянь динаміки; 4 – істотні параметри, що діагностуються; 5 – динамічні параметри; c – контроль працездатності; s – стан

З використанням математичних моделей динаміки випарника [13], компресора [14], конденсатора [15] теплового насоса та електроаккумулятора [16] на основі графа причинно-наслідкових зв'язків (рис. 2) виконано контроль працездатності та ідентифікацію стану систем: випарник-компресор, компресор-конденсатор теплового насоса [13] та контроль працездатності та ідентифікацію стану електроаккумулятора [16] щодо здобуття підсумкової інформації на рівні прийняття рішень. На основі здобутої інформації можливо запропонувати використання інтегрованої логічної моделі – методу інтегрованого прийняття рішень щодо підтримки співвідношення виробництва та споживання електричної енергії та теплоти у складі когенераційної системи.

Так, наприклад, при зниженні температури низькопотенційного джерела енергії при розряді когенераційної установки на основі контролю працездатності та ідентифікації стану випарника теплового насоса

[13] з використанням передатної функції, що оцінює зміну паровмісту пари при зміні витрати холодагента [13] можливо отримати таку підсумкову інформацію:

$$\begin{aligned} & (CT_c(\tau)(\Delta x(\tau) / \Delta x_{ст. розр.}(\tau)) > \\ & \Delta x_{розр. рив.}(\tau) / \Delta x_{ст. розр.}(\tau)), \end{aligned} \quad (1)$$

що потребує прийняття рішення на збільшення подачі холодагента у випарник теплового насоса для його повного випаровування:

$$(P(\tau)(G_{хл}(\tau(+))), Z_{cc}(\tau)). \quad (2)$$

На основі контролю працездатності та ідентифікації стану електроаккумулятора [16] з використанням передатної функції, що оцінює зміну температури електроліту в порах пластин та над пластинами при зміні температури електроліту в об'ємі електроаккумулятора [16] можливо здобути таку аналітичну оцінку зміни температури електроліту в порах пластин та над пластинами при заряді:

$$\begin{aligned} & (CT_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{ст. розр. зар.}(\tau) < \\ & \Delta t_{розр.}(\tau) / \Delta t_{ст. розр. зар.}(\tau)) \end{aligned} \quad (3)$$

що дозволяє прийняти своєчасне рішення на розряд акумуляторної батареї (рис. 3):

$$(P(\tau)(t_e(\tau(-))), Z_{cc}(\tau)) \quad (4)$$

та надає можливість виконати підтримку системи: «випарник-компресор теплового насоса» на основі підсумкової інформації щодо зміни паровмісту пари у випарнику (1) та витрати пари через компресор, яка здобута на основі контролю працездатності та ідентифікації стану компресора теплового насоса [14] з використанням передатної функції, що оцінює зміну витрати пари через компресор теплового насоса при зміні тиску[14]:

$$\begin{aligned} & (CT_c(\tau)(\Delta G(\tau) / \Delta G_{макс. розр. верх.}(\tau) < \\ & \Delta G_{розр.}(\tau) / \Delta G_{макс. розр. верх.}(\tau)), \end{aligned} \quad (5)$$

Рішення (2, 3) дозволяють збільшити подачу холодагента у випарник теплового насоса з ціллю його повного випаровування та економного стиску збільшеної витрати пари (рис. 4):

$$(P(\tau)(G(\tau(-))), Z_{cc}(\tau)). \quad (6)$$

Такі рішення разом з оцінкою зміни температури зворотної води на основі контролю працездатності та ідентифікації стану конденсатора теплового насоса [15] з використанням передатної функції, що оцінює зміну температури води, що нагрівається при зміні витрати холодагента [15] забезпечують функціонування системи компресор-конденсатор для збільшення перепуску пари холодагента в конденсатор теплового насоса, що дозволяє, використовуючи розряд емності мережевої води низького рівня підігріву, приймати рішення на включення секції компресора теплового насоса верхнього рівня підігріву без додат-

кового теплового насоса щодо економії електроенергії (рис. 5).

$$\begin{aligned} & (CT_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{ст. розр. низ.}(\tau) < \\ & \Delta t_{розр. рив.}(\tau) / \Delta t_{ст. розр. низ.}(\tau) > 0)). \end{aligned} \quad (7)$$

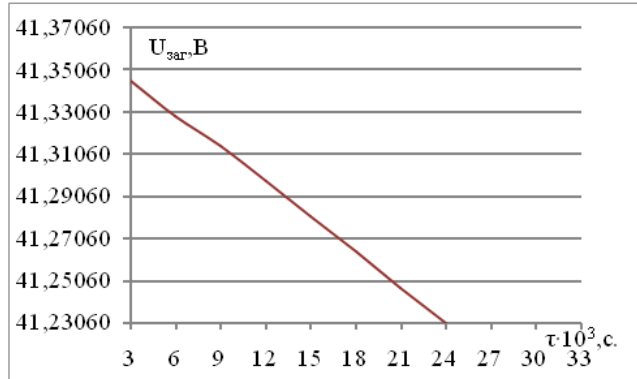


Рис. 3. Зміна загальної напруги $U_{заг.}$ 48 В впродовж часу розряду, де $U_{заг.}$ – загальна напруга, В; τ - час, с

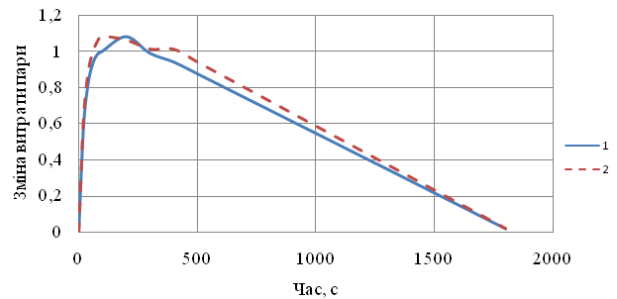


Рис. 4. Зміна витрати пари холодагента від часу щодо підтримки функціонування системи випарник-компресор та компресор-конденсатор на рівні прийняття рішень: 1 – діагностування зменшення витрати пари; 2 – діагностування збільшення витрати пари

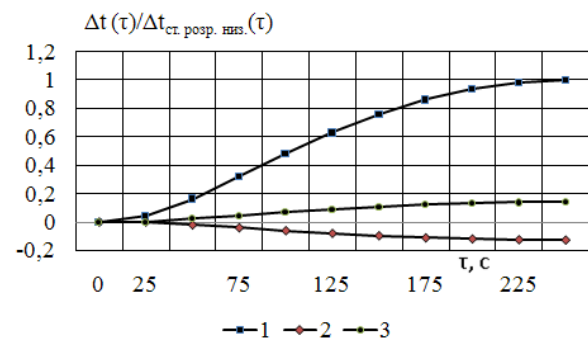


Рис. 5. Зміна температури мережевої води від часу щодо підтримки функціонування системи компресор-конденсатор: 1 – гранично припустима зміна температури мережевої води; 2, 3 – прийняття рішення та його ідентифікація щодо збільшення витрати холодагента, де t – температура мережевої води, К; τ – час, с. Індекс: ст. розр. низ. – стале розрахункове значення температури мережевої води низького рівня функціонування

При підвищенні температури низькопотенційного джерела енергії при заряді когенераційної установки на основі контролю працездатності та ідентифікації стану випарника теплового насоса [13] з використанням передатної функції, що оцінює зміну паровмісту пари при зміні витрати холодагента [13] можливо отримати таку підсумкову інформацію:

$$\begin{aligned} & (CT_c(\tau)(\Delta x(\tau) / \Delta x_{ст. розр.}(\tau) < \\ & < \Delta x_{розр. рив.}(\tau) / \Delta x_{ст. розр.}(\tau)), \end{aligned} \quad (8)$$

що потребує прийняття рішення на зменшення подачі холодагента у випарник та компресор теплового насоса для його повного випаровування (рис. 6) та економного стиску (рис. 4)

$$(P(\tau)(G_{хл}(\tau)(-)), Z_{cc}(\tau). \quad (9)$$

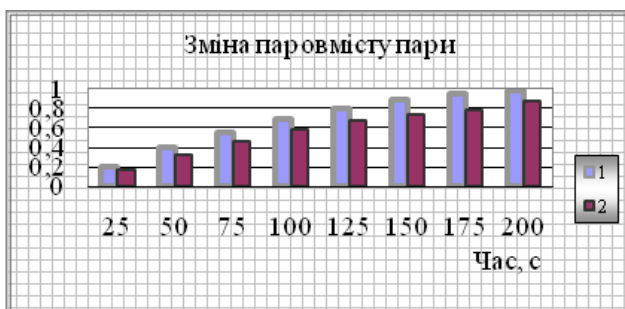


Рис. 6. Зміна паровмісту пари від часу щодо підтримки функціонування системи випарник-компресор на рівні прийняття рішень: 1 – гранично припустима працездатність випарника та ідентифікація прийняття рішення; 2 – діагностування зменшення витрати холодагента

На основі контролю працездатності та ідентифікації стану електроаккумулятора [16] з використанням передатної функції, що оцінює зміну температури електроліту в порах пластин та над пластинами при зміні температури електроліту в об'єму електроаккумулятора [16] можливо прийняти своєчасне рішення на заряд акумуляторної батареї (рис. 7):

$$(P(\tau)(t_c(\tau)(+)), Z_{cc}(\tau), \quad (10)$$

на основі аналітичної оцінки зміни температури електроліту в порах пластин та над пластинами при розряді [16]:

$$\begin{aligned} & (CT_c(\tau)(-\Delta t(\tau) / -\Delta t_{ст. розр. роз.}(\tau) > \\ & > -\Delta t_{розр.}(\tau) / \Delta t_{ст. розр. роз.}(\tau)), \end{aligned} \quad (11)$$

що забезпечує функціонування системи «компресор-конденсатор» щодо зменшення перепуску пари у конденсатор теплового насоса з ціллю зменшення теплової акумуляуючої ємності мережевої води (рис. 8).

Прийняття рішень (рис. 4, 6–8) та використання підсумкової інформації на основі контролю працездатності та ідентифікації стану конденсатора теплового насоса [15] з використанням передатної функції, що

оцінює зміну температури води, що нагрівається при зміні витрати холодагента [15]:

$$\begin{aligned} & (CT_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{ст. розр. низ.}(\tau) > \\ & > \Delta t_{розр. рив.}(\tau) / \Delta t_{ст. розр. низ.}(\tau) > 1)), \end{aligned} \quad (12)$$

дозволяє зберегти припустимі межі працездатності низького рівня функціонування енергопостачання для подальшого підігріву мережевої води при розряді когенераційної системи, де СТ – контроль події; G – витрата речовини, кг/с; P – властивості елементів когенераційної системи; t – температура робочого тіла, К; x – паровміст робочого тіла; Z – логічні відносини в динамічній підсистемі; τ – час, с. Індокси: с – контроль працездатності; е – електроліт в об'єму електроаккумулятора; макс., розр., ст. – максимальне розрахункове, стале значення параметра; зар., роз. – заряд, розряд; верх, низ, рив. – верхній, низький, рівень; хл – холодагент.

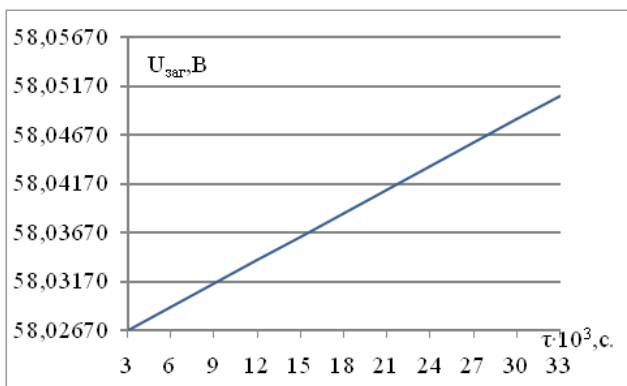


Рис. 7. Зміна загальної напруги U_{заг.} 48 В впродовж часу заряду, де U_{заг.} – загальна напруга, В; τ - час, с

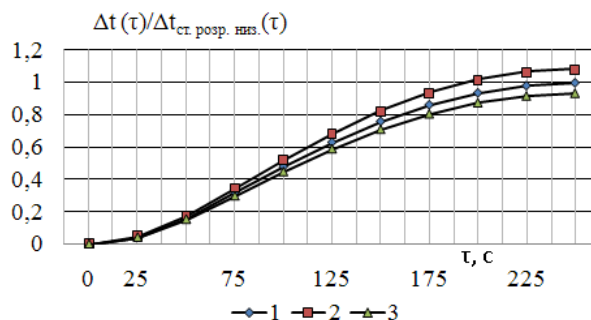


Рис. 8. Зміна температури мережевої води від часу щодо підтримки функціонування системи компресор-конденсатор на рівні прийняття рішень: 1, 3 – прийняття рішення та його ідентифікація щодо зменшення акумуляуючої ємності мережевої води; 2 – гранично припустима зміна температури мережевої води

4. Висновки

Запропонована підтримка співвідношення виробництва та споживання електричної енергії та теплоти на основі когенераційної системи, основу якої складає інтегрована динамічна підсистема з використанням

теплонасосного енергопостачання та електроаккумуляції. На основі підсумкової інформації, здобутої в результаті контролю працездатності та ідентифікації стану систем: випарник-компресор, компресор-конденсатор теплового насоса та контролю працездатності та ідентифікації стану електроаккумулятора з використанням математичних моделей динаміки випарника, компресора, конденсатора теплового насоса та електроаккумулятора розроблено метод інтегрованого прийняття рішень в умовах не збігу виробництва та споживання енергії; розроблена логічна модель.

Так, при зміні споживання електричної енергії в межах рівня потужності когенераційної установки можливо за рахунок підключення теплового насоса, що оцінює як виробництво енергії, так і її споживання за зміною температури низькопотенційного джерела енергії, приймати попереджувальні рішення на зміну рівня виробництва теплоти щодо подальшого використання теплоносія у складі когенераційної установки. Прогнозування зміни напруги заряду та розряду акумуляторної батареї дозволяє не тільки забезпечувати економне функціонування теплонасосної системи, а й

своєчасно виконувати економне електроаккумулявання як в години збиткового виробництва електроенергії, так і при зниженні споживання.

У зв'язку із збитковістю виробництва електричної енергії в години найменшого споживання, тобто в нічні часи, когенераційні установки функціонують 6000 годин на рік. Розроблений метод інтегрованого прийняття рішень щодо підтримки співвідношення виробництва та споживання енергії дозволяє за рахунок додаткового використання когенераційної установки до 2000 годин на рік додатково акумулювати до 30 % виробленої електричної енергії як для економної підтримки функціонування теплонасосної системи, так і в години збільшення споживання електроенергії в межах рівня потужності когенераційної установки без додаткової витрати палива на збільшення виробництва електроенергії. Таким чином, можливо зменшити собівартість виробництва енергії та шкідливі викиди двоокису вуглецю до 10–15 % з урахуванням збільшення сервісного обслуговування когенераційної установки за рахунок підключення теплового насоса та електроаккумуляторів.

Література

1. Сафьянц, С. М. Исследование схемы источника теплоэлектроснабжения с регулированием нагрузок на базе использования тепловых насосов [Текст] / С. М. Сафьянц, Н. В. Колесниченко, Т. Е. Веретенникова // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 33, № 3. – С. 79–85.
2. Билека, Б. Д. Экономичность когенерационных и комбинированных когенерационно-теплонасосных установок с газопоршневыми и газотурбинными двигателями [Текст] / Б. Д. Билека, Р. В. Сергиенко, В. Я. Кабков // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 7 (74). – С. 25–29.
3. Горобець, В. Г. Ексергетичний аналіз ефективності енергетичних систем для комплексного виробництва електричної та теплової енергії з використанням поновлювальних джерел енергії [Текст] / В. Г. Горобець, Б. Х. Драганов // Відновлювальна енергетика. – 2010. – № 3 (22). – С. 5–12.
4. Баласанян, Г. А. Оптимізація параметрів теплової схеми інтегрованої системи енергоспоживання [Текст] / Г. А. Баласанян, А. С. Мазуренко // Труды Одесского политехнического университета. – 2006. – 1(25). – С. 59–65.
5. Мацевитый, Ю. М. Термoeкономический анализ теплонасосной системы теплоснабжения [Текст] / Ю. М. Мацевитый, Н. Б. Чиркин, М. А. Кузнецов // Проблемы машиностроения. – 2010. – №1, Т. 13. – С. 42–51.
6. Редько, А. А. Исследование термодинамических режимов геотермальных теплонасосных установок [Текст] / А. А. Редько, Д. Х. Харлампида // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2009. – №2(76). – С. 86–98.
7. Барский, И. А. Показатели поршневого компрессора теплового насоса на частичных режимах [Текст] / И. А. Барский, Ю. А. Антипов, И. К. Шаталов, Д. В. Терехов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2011. – № 1. – С. 31–33.
8. Басок, Б. И. Перспективные когенерационные теплонасосные схемы геотермальной энергетики [Текст] / Б. И. Басок, Т. А. Резакова, Д. М. Чалаев // Промышленная теплотехника. – 2006. – №2, Т. 28. – С. 36–40.
9. Билека, Б. Д. Когенерационно - теплонасосные технологии в схемах горячего водоснабжения большой мощности [Текст] / Б. Д. Билека, Л. К. Гаркуша // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т. 34, № 4. – С. 52–57.
10. Федулов, С. П. Когенерация агропромышленного комплекса. Передовые проекты [Текст] / С. П. Федулов // Турбины и дизели. – 2013. – №2. – С. 18–22.
11. Клепанда, А. С. Методика мониторинга термодинамической эффективности теплового насоса [Текст] / А. С. Клепанда, В. А. Тарасова, Ю. В. Бережко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 2, № 8 (68). – С. 1–8.
12. Чайковская, Е. Е. Оптимизация энергетических систем на уровне принятия решений [Текст] / Е. Е. Чайковская // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т. 35, № 7. – С. 169–173.
13. Чайковська, Є. Є. Інтелектуальна система управління теплонасосним енергопостачанням [Текст] / Є. Є. Чайковська, В. В. Стефанюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 5. – С. 76–83.
14. Чайковська, Є. Є. Комплексна система підтримки функціонування теплонасосного енергопостачання [Текст] / Є. Є. Чайковська, В. В. Стефанюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 2, № 8 (50). – С. 54–57.
15. Чайковська, Є. Є. Управління теплонасосним тепlopостачанням на основі синергетичної інформації [Текст] / Є. Є. Чайковська, В. В. Стефанюк, О. С. Кореннік // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – №2. – С. 17–21.
16. Чайковська, Є. Є. Підтримка електроаккумулявання на рівні прийняття рішень [Текст] / Є. Є. Чайковська // Вісник НТУ "ХПИ". Серія "Нові рішення в сучасних технологіях". – 2012. – № 50 (956). – С. 124–127.