

**Ігор Єремєєв<sup>1</sup>, Олександр Єщенко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами  
Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського (Київ, Україна)  
E-mail: [yremeyv@gmail.com](mailto:yremeyv@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1968/0395>

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри теплової та альтернативної енергетики  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)  
E-mail: [doc44ent@gmail.com](mailto:doc44ent@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3915-486X>

**СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ**

На основі системного підходу до аналізу стану енергетичної інфраструктури в роботі представлена концепція трансформації існуючої системи теплопостачання в цілісний комплекс розосереджених енергогенеруючих об'єктів (технопарків) з метою підвищення рівня енергетичної безпеки країни. Для забезпечення надійності та стійкості систем теплопостачання пропонується автономні локальні енергокомплекси із застосуванням когенераційних технологій та відновлювальних джерел енергії з інтегрованими системами акумуляції теплової та електричної енергії.

**Ключові слова:** енергетична інфраструктура; тепла енергія; розосереджена генерація; евристичний аналіз; оптимальне керування.

Рис.: 1. Бібл.: 5.

**Актуальність теми дослідження.** Критична енергоінфраструктура відіграє важливу роль у забезпеченні енергетичної безпеки держави, створенні умов для життєдіяльності населення та розвитку національної економіки.

**Постановка проблеми.** При розробці та проектуванні автономної системи енергопостачання як компонент критичної енергоінфраструктури необхідним є аналіз функцій окремих складових системи та критеріїв, що визначають енергоефективність системи загалом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням функціонального аналізу розосереджених енергетичних систем присвячено достатню кількість наукових праць [1-4]. Зокрема в роботі [1] розглянуто формування оптимальної структури локальної електроенергетичної системи на основі оцінки міри близькості розміщення об'єктів із застосуванням кластерного аналізу для моделювання систем за концепцією Microgrid.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз виконаних досліджень показав, що в питаннях розробки та проектування автономних локальних енергосистем з інтегрованим у них устаткуванням із використанням відновлювальних джерел енергії, необхідним є розгляд функцій окремих складових структурної схеми системи та критеріїв, що визначають енергоефективність системи в цілому, а також їхня взаємодія у різних обставинах. Крім того, дослідження, що проводилися, були присвячені розробці, головним чином, інтелектуальних систем теплозабезпечення приватних будинків, де досить просто вирішити проблеми комфорту та заощаджуванню енергії. Водночас проблема теплозабезпечення багатоквартирних будинків (в аспекті інтелектуалізації функціонування окремих складових системи теплозабезпечення) майже не розглядалася.

**Метою статті** є розробка концепції автономної локальної системи енергопостачання для багатоквартирних будинків як компонента критичної енергоінфраструктури з метою підвищення рівня енергетичної безпеки країни та забезпечення необхідного комфорту.

**Виклад основного матеріалу.** Сучасний стан енергетичної інфраструктури накладає певні вимоги до стабільності режимів її роботи, до необхідності пошуку оптимальних з техніко-економічного погляду налаштувань, до отримання припустимих співвідношень таких показників, як економічність та умови комфорту, у тому числі в разі суттєвих коливань погодних умов, відмов у компонентах систем теплозабезпечення, нештатних ситуацій тощо.

Сьогодні комунальне теплопостачання здійснюється різними шляхами:

- централізованими системами теплопостачання, які забезпечують теплом міста або окремі райони великих міст;

- мікрорайонними котельнями, які забезпечують теплом множину будинків того, чи іншого мікрорайону великого міста, або й невелике місто чи СМТ;
- локальними системами теплопостачання (ЛСТ).

Перші два шляхи мають спільні проблеми, пов'язані з втратами теплової енергії під час теплогенерації та втратами в системах транспортування, які зі збільшенням довжини трубопроводів зростають і в сучасних централізованих системах теплопостачання великих міст вони можуть становити 20-30 %.

До локальних систем теплопостачання сьогодні можна віднести домові котельні, теплові насоси та індивідуальні нагрівачі різних типів, які використовують як класичні, так і альтернативні види джерел енергії.

Останнім часом розбудова ЛСТ стає більш популярною завдяки притаманним їм позитивним рисам: суттєво зменшеними порівняно із системами централізованого теплопостачання витратами на транспортування теплоносіїв, незалежністю від проблем адаптації до умов розвитку тепломереж, можливість використовувати альтернативні джерела енергії тощо. Проте ЛСТ мають і свої недоліки. Так, домові котельні в разі пожежі чи вибуху можуть знищити або суттєво пошкодити будинок, виток газу (енергоносія) або продуктів згоряння (особливо СО) може призвести до отруєння мешканців будинку, невеликий димар не сприяє підйому продуктів згоряння на висоту, достатню для забезпечення ефективної турбулентної дифузії та винесенню цих газів за межі району розташування котельні (інакше кажучи, сприяє утворенню смогу в мікрорайоні).

Теплові насоси не мають означених вище недоліків і не вимагають використання палива будь-якого гатунку (за виключенням незначного споживання електроенергії), але їхнє використання обмежується, головним чином, приватним сектором.

Квартирні обігрівачі (окрім притаманних домовим котельням проблем, зазначених вище) мають ще й інші недоліки: зменшений ККД (за рахунок того, що в межах прийнятної вартості та габаритів неможливо використати пристрої утилізації тепла та оптимізації режимів), підвищену небезпеку (адже замість одного джерела тепла в будинку може бути 160-250 таких джерел з відповідним збільшенням вірогідності аварії), неможливість використання альтернативних видів палива (у разі обігрівачів, які використовують газ) або широкого використання електрообігрівачів без суттєвої реконструкції електромереж. Що ж стосується використання сонячної енергії, то такі нагрівачі мають співіснувати з іншими обігрівачами, або ж використовувати досить складні та дорогі системи акумулювання енергії.

Усе зазначене вище вимагає у разі вибору ЛСТ розглядати усі позитивні та негативні риси кожної з ЛСТ, оцінювати кожен систему з усіх поглядів (можливості застосування альтернативних джерел енергії або палива, гнучкості, вартості, екологічності, безпеки) і обирати таку ЛСТ, яка є оптимальною за усіма, чи більшістю показників. З огляду на зазначене вище, одним із варіантів оптимальної ЛСТ можна вважати ЛСТ, яка змонтована в окремому приміщенні й обслуговує декілька будинків, що оточують її. При цьому завдяки дуже коротким теплотрасам втрати тепла будуть мінімальні, будь-яка аварія на ЛСТ не вплине на стан будинків, які вона забезпечує теплом, переведення котельні на альтернативне паливо можна здійснити досить легко, причому в приміщенні котельні можна передбачити установку для отримання газу шляхом піролізу органічної складової твердих побутових відходів, листя, новорічних ялинок та іншого сміття, що дозволить економити паливо та вирішити проблему утилізації відходів.

Для комплексної оцінки якості роботи складної теплоенергетичної системи необхідно проводити аналіз відхилення від заданих значень таких показників:

- температурних графіків теплових мереж;
- теплогідравлічних режимів роботи мереж;
- показників якості водно-хімічного режиму роботи теплових мереж;

- втрат теплової енергії при її транспортуванні;
- витрат електроенергії на транспортування теплоносія;
- надійності тепlopостачання (захист мереж від гідравлічних ударів, число відключень на 1 км траси).

Але, найголовніше, результати цих аналізів мають оцінюватися як з точки зору виявлення сталих трендів показників, що аналізуються, так і з урахуванням коливань погодних умов, налаштувань регуляторів, вибору того чи іншого режиму з точки зору бажаного співвідношення економічність/комфорт, причому повинно мати місце домінування пріоритету надійності тепlopостачання над прибутковістю.

Система управління використанням теплової енергії має базуватися на :

- застосуванні енергоефективного обладнання;
- моніторингу енерговикористання;
- енергоаудиті стану інженерних систем та енергобалансу;
- алгоритмах сталого пошуку та забезпечення оптимальних режимів теплозабезпечення, енергоефективності та комфорту в реальних умовах функціонування всіх компонентів системи та можливих діапазонах дрейфу показників, коливань якісних та кількісних характеристик теплоносіїв і припустимих («штатних») реконфігурацій систем;
- застосуванню сучасних схемно-конструктивних рішень

Іншими словами, щоб отримати енергоефективне тепlopостачання потрібно виконати багато умов, у тому числі й умови, які накладаються на параметри теплоносія, що повертається до джерела теплової енергії (ТЕЦ, опалювальної котельні). Тобто само по собі енергоефективне тепlopостачання є складним інженерним завданням із необхідністю застосування системного підходу з метою забезпечення енергоекономічної експлуатації системи тепlopостачання загалом.

Тому для житлової забудови з багатоквартирними будинками треба знайти адекватні критерії і важелі впливу задля організації стабільного та ефективного теплозабезпечення [3]. На наш погляд, трансформація існуючої системи централізованого тепlopостачання (або її доповнення) можлива із застосуванням:

- комбінованого виробництва теплової та електричної енергії в автономних локальних системах енергопостачання за когенераційною технологією на сучасному високоефективному устаткуванні;
- широкого застосування відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) згідно з вимогами IV енергетичного переходу;
- системи акумуляції електричної та теплової енергії (накопичувачів електричної та теплової енергії, розподілених за окремими об'єктами технопарку);
- системи автоматизованого управління виробництвом, розподілом теплової та електричної енергії;
- системи автоматичного енергомоніторингу, діагностики енергетичного обладнання з центром диспетчеризації, зв'язку та управління об'єктами розосередженого енергопостачання.

Такий підхід гармонізується з проектною розробкою ЕС – платформою енергозабезпечення Europeen Technology Platform SmartGrid на основі розосередженої генерації та Smart-технологій [2; 3].

Одним із найважливіших критеріїв є, звичайно, економія енергоносіїв. У багатоквартирних будинках, де здійснюється централізоване опалення від ТЕЦ або опалювальної котельні, вважається, що можливості економії обмежені. Але це не зовсім так. Ці генератори теплової енергії можуть бути обладнані піролізними генераторами, що, по-перше, перетворюють органічні побутові відходи у піролізний газ, який можна використати замість природного, забезпечуючи економію останнього, та, по-друге, вирішуючи ще і проблему поводження з побутовими відходами. При цьому управління процесами теплогенерації може

завжди починатися з перевірки того, чи достатній тиск піролізного газу у системі і у разі позитивної відповіді використати цей газ для потреб теплогенерації, тобто економити природний газ (або його частку – у разі потреби генерації великої кількості тепла). Якщо використовуються бойлери, то підігрів теплоносіїв може також відбуватися (частково) різними шляхами: гарячою водою від ТЕЦ або котельні, які обладнані піролізними генераторами, або електричним підігрівачем (від акумуляторної батареї, що живиться від сонячної батареї або вітряка, встановлених на будинку). При цьому алгоритм забезпечення бойлера енергією має базуватися на пріоритеті використання альтернативних видів енергії.

Іншим критерієм є комфорт у приміщенні. Забезпечення комфортних умов у багатоквартирних будинках – складна проблема. Але і тут є певні перспективи. По-перше, система тепlopостачання має відстежувати коливання атмосферного тиску, температури, показника сталості атмосфери, вологості, напрямку та швидкості вітру, порівнювати їх з притаманними для цього періоду середніми значеннями цих показників і прогнозувати на підставі цих даних та банку фактів, що зберігає аналогічну інформацію за минулі роки, регулюючи впливи на систему тепlopозабезпечення. По-друге, система має враховувати такі нюанси, як режим сну, коли температура у приміщенні може бути на декілька градусів нижча за денну, та режим прокидання, коли ця температура має бути вищою за задану середню температуру у приміщенні.

На жаль, інші критерії, притаманні концепції «розумного будинку», поки що важко використати в багатоквартирних будинках. Їх можна використати хіба що в казармах військових частин або гуртожитках, де життя досить жорстко регламентоване. Саме тому для розробки схемних рішень автономної локальної системи енергопостачання доцільно застосувати методику евристичного аналізу.

До складу інтелектуальної системи теплоспоживання (ІСТ), що може забезпечити управління процесами оптимізації, зазначеними вище, входять як складові технічні засоби (ТЗ) інформаційне (ІЗ) та математичне (МЗ) забезпечення. При цьому до складу ТЗ входять генератори та перетворювачі енергії (бойлери, піролізні генератори, сонячні батареї, вітрогенератори, теплообмінники, утилізатори, електрогенератори, акумуляторні батареї, перетворювачі змінного струму у сталий і сталого у змінний, газові турбіни або газові мотори), регулюючі (виконавчі) органи, засоби завдання та відображення режимів та стану ТЗ. До ІЗ належать вимірювачі параметрів зовнішнього (навколишнього) середовища, параметрів у приміщеннях, що обслуговуються, вимірювачі теплото потоків до приміщень, що обслуговуються, та з цих приміщень назовні, тобто витрат, вимірювачі поточного часу та даних календаря. До МЗ належать програми, що забезпечують досягнення та утримання оптимальних режимів функціонування системи, а також контроль за працездатністю усіх компонентів системи й перехід, у разі потреби, на інший, передбачений раніше як припустимий, режим роботи.

МЗ формується на базі евристик, що формують умови, за якими припустимий той чи інший режим або перехід до іншої парадигми управління, наприклад наступні:

**ЯКШО** ( $t_{гво} < t_{31}$ ) **ТА** ( $Оп=1$ ) **ТА** ( $ПІРГ=0$ ), **ТО** ( $ПІРГ \rightarrow 1$ ), **ІНАКШЕ** ( $ПрГ \rightarrow 1$ ),  
**ЯКШО** ( $t_{гвгвс} < t_{32}$ ) **ТА** ( $Оп=0$ ) **ТА** ( $ПІРГ=0$ ) **ТА** ( $U_{АБ} > U_{АБmin}$ ), **ТО** ( $(УК + АБ) \rightarrow 1$ ),  
**ІНАКШЕ** ( $ПІРГ \rightarrow 1$ ) **ТА** ( $ЕГ \rightarrow 1$ ),  
**ЯКШО** ( $U_{ШСС} < U_{АБ3min}$ ) **ТА**  $\{(t_{гво} < t_{31})$  **АБО** ( $t_{гвгвз} < t_{32}\}$ , **ТО** ( $(УК + АБ) \rightarrow 1$ ).

Тут  $t_{гво}$  – температура гарячої води в системі опалення;  $t_{31}$  – мінімально припустиме значення  $t_{гво}$ ;  $Оп = 1$  – опалення включено;  $ПІРГ=0$  – піролізний генератор відключений; ( $ПрГ \rightarrow 1$ ) – подача природного газу; ( $ПІРГ \rightarrow 1$ ) – включення піролізатора;  $t_{гвгвз}$  – температура гарячої води в системі ГВЗ;  $Оп=0$  – опалення відключене;  $U_{АБ} > U_{АБmin}$  – напруга на клеммах АБ перевищує мінімально припустиме;  $(УК + АБ) \rightarrow 1$  – Підключити УК (утилізаційний котел) до АБ; ( $ПІРГ \rightarrow 1$ ) та ( $ЕГ \rightarrow 1$ ) – включити, відповідно, піролізний та електрогенератор; ШСС – шина сталого струму; ( $U_{ШСС} < U_{АБ3min}$ ) – умови включення УК до ШСС, якщо напруга на клеммах останньої нижче за мінімальну напругу, яка необхідна для заряджання АБ.

Один із варіантів схеми альтернативного теплозабезпечення енергоефективного будинку (ЕЕБ) відповідно до наведених евристик наведено на рис. 1. Тут  $t_{ГВО}$  визначається на виході з ТП у мережу опалення, а  $t_{ГВГЗ}$  – у мережу ГВЗ.

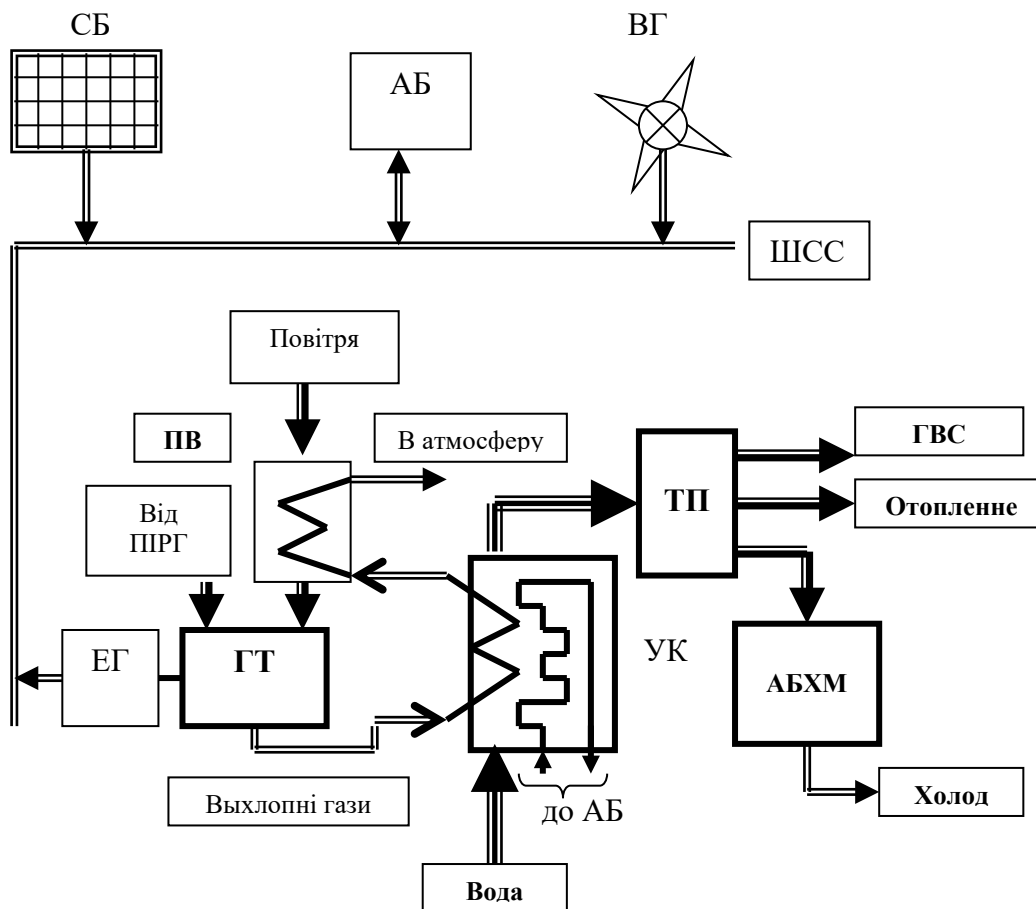


Рис. 1. Варіант схеми автономного енергозабезпечення:

ПП – підігрівач повітря; ТП – теплопункт; ГВЗ – гаряче водозабезпечення; ГТ – газова турбіна; УК – утилізаційний котел; АБХМ – абсорбційна холодильна машина; ЕГ – електрогенератор; СБ – сонячна батарея; АБ – акумуляторна батарея; ВГ – вітрогенератор

Інша група евристик передбачає управління з прогнозуванням, мета якого – недопущення порушення комфорту при зміні погодних умов або режимів функціонування. До цієї групи можна віднести такі евристики:

**ЯКЩО**  $\{(|\Delta t_{нв}/\Delta\tau| > \Delta t_{min}) \text{ АБО } (\Delta v/\Delta\tau > \Delta v_{min}) \text{ АБО } (\Delta h/\Delta\tau > \Delta h_{min})\}$  **ТА**  $\{PO=1\}$ ,  
**ТО**  $[\Delta R=(\text{sign}\Delta)\times(\text{step}_{\Delta\tau})]$

**ЯКЩО**  $\{(|\Delta t_{нв}/\Delta\tau| > \Delta t_{min}) \text{ АБО } (\Delta v/\Delta\tau > \Delta v_{min}) \text{ АБО } (\Delta h/\Delta\tau > \Delta h_{min})\}$  **ТА**  $\{PO=0\}$ ,  
**ТО**  $[\Delta R=0]$

**ЯКЩО**  $\{(|\Delta t_{нв}/\Delta\tau| > \Delta t_{max}) \text{ АБО } (\Delta v/\Delta\tau > \Delta v_{max}) \text{ АБО } (\Delta h/\Delta\tau > \Delta h_{max})\}$  **ТА**  $\{PO=0\}$ ,  
**ТО**  $[\Delta R=(\text{sign}\Delta)\times(\text{step}_{\Delta\tau})]$

Тут  $\Delta t_{зп}$  – прирощення температури зовнішнього повітря за період сталої часу будинку  $\Delta\tau$ ;  $\Delta t_{min}$  – мінімально припустиме прирощення температури зовнішнього повітря, на яке система може не реагувати;  $\Delta v/\Delta\tau$  – прирощення швидкості вітру за період сталої часу будинку  $\Delta\tau$ ;  $\Delta v_{min}$  – мінімально припустиме прирощення швидкості вітру, на яке система може не реагувати;  $\Delta h/\Delta\tau$  – мінімально припустиме прирощення вологості зовнішнього повітря, на яке система може не реагувати;  $PO = 1$  – нормальний режим опалення

ввімкнуто;  $\Delta R$  – прирощення керуючого впливу на час  $\text{step}_{\Delta t}$ , тобто на час  $\Delta t$  з урахуванням знаку прирощення;  $PO = 0$  – режим опалення послаблений (нічний час, час довготривалої відсутності мешканців);  $\Delta t_{\max}$ ,  $\Delta v_{\max}$ ,  $\Delta h_{\max}$  – граничні значення для випадку різних суттєвих змін навколишніх умов, які здатні вплинути на комфортні умови.

Теоретичний аналіз автономної локальної системи теплопостачання базується на засадах моделювання процесу при застосуванні автоматизованої системи управління та енергомоніторингу з елементами самонавчання [5].

У теорії автоматичних систем управління мають місце поняття «навчання» та «самонавчання». У цих поняттях закладений такий зміст. Під навчанням математичної моделі розуміється процес вироблення в цій моделі тієї або іншої реакції на зовнішні сигнали шляхом багаторазового впливу на математичну модель та її зовнішнього коригування. Зрозуміло, що математична модель передбачається потенційно здатною до навчання.

Поставлена мета створення системи самонавчання досягається тим, що система управління теплоспоживанням, яка містить: датчики мікроклімату, датчики параметрів, що характеризують формування мікроклімату, датчики метеоумов, пов'язані через контролер введення/виведення даних із програмою обробки даних, керуючої, у свою чергу, через контролер виконавчими пристроями, додатково містить програмний блок-емулятор показань датчиків зовнішніх метеоумов, що передає змодельовані показання датчиків в програму обробки даних.

Функціональна схема управління теплоспоживанням може зокрема мати таке наповнення: система містить датчики мікроклімату, датчики параметрів технологічних процесів, датчики зовнішніх метеоумов, виконавчі пристрої, контролер введення/виведення даних, програму обробки даних, програмний блок-емулятор показань датчиків зовнішніх метеоумов, що передає змодельовані показання датчиків у програму обробки даних.

Структура й функції автоматизованої системи теплопостачання (АСТП) при цьому повинні передбачати, з одного боку, максимальне використання альтернативних джерел енергії (тобто підключення природного газу лише за умов, коли альтернативні джерела енергії не можуть забезпечити комфортні умови в приміщеннях та необхідну температуру гарячої води), а з іншого – урахування чинників навколишнього середовища (температура, вологість, швидкість вітру), а також часу доби, дня тижня та деяких індивідуальних уставок користувачів системи. Один з варіантів АСТП може включати такі альтернативні джерела як сонячна батарея (СБ) та вітрогенератор (ВГ). Оскільки сонце і вітер «працюють» не весь час і зазвичай не завжди забезпечують під час роботи необхідні параметри, варто електроенергію, яку вони виробляють, прямувати на входи зарядних пристроїв (ЗП) для заряджання акумуляторної батареї (АБ), яка, у свою чергу, живить електронагрівач, який і забезпечує підігрів води в теплообміннику системи теплопостачання (ТО або УК).

Процес управління поділено на цикли рівної тривалості. На початку кожного циклу проводиться послідовне опитування датчиків

Програма обробки даних через контролер опитує датчик та отримує його показник. Час, що витрачається на перетворення та введення вимірювальної інформації в програму обробки даних, значно менше періоду коливань у керованому процесі. Тому вся вимірювальна інформація одного циклу вводиться практично одночасно. Після того, як вся інформація передана в запам'ятовувальний пристрій протягом деякого часу програма обробки даних виконує розрахунок необхідних керуючих сигналів. Потім керуючий сигнал від контролера виконує управляючий вплив, який зберігається незмінним протягом цього циклу управління, або за якимось прогнозуючим алгоритмом змінюється.

Потім оброблена та узагальнена вимірювальна інформація про хід процесу та стан технологічного обладнання передається програмою обробки даних на запам'ятовувальний пристрій та на необхідні периферійні пристрої. Після чого система перетворюється

на стан очікування чи до виконання допоміжних розрахунків, які можуть перериватися без порушення програми та проміжних результатів на час чергового циклу управління.

У початковий період експлуатації системи час між циклами керування використовується для самонавчання системи, яке здійснюється таким чином.

До програми обробки даних підключається програмний блок математичної моделі теплового режиму приміщення. На період між циклами управління програма обробки даних включає програмний блок-емулятор показань датчиків зовнішніх метеоумов.

Робота системи під час навчання відбувається так само, як і під час управління, з тією різницею, що вхідну інформацію система отримує від програмного блоку-емулятора показань датчиків зовнішніх метеоумов, а вихідну передає програмному блоку, що моделює формування мікроклімату приміщень.

Після того, як на черговій моделі формування мікроклімату навчання закінчується, у програму обробки даних вводиться складніша модель формування мікроклімату та система, використовуючи накопичені дані, навчається на цій моделі. Після того як система починає достатньо швидко переходити від однієї математичної моделі формування мікроклімату до іншої, процес навчання на моделях закінчується і система переводиться в режим навчання на реальному об'єкті. Час навчання скорочується за рахунок того, що в період навчання на моделях частота циклів керування збільшується.

Методологія самонавчання математичної моделі представляє окреме математичне завдання. Її рішення та реалізації присвячено велику кількість робіт. В основу математичного апарату для самонавчання математичних моделей виявилось можливим і зручним покласти імовірнісні інтерактивні методи, і зокрема методи стохастичної апроксимації.

**Висновки.** Трансформація існуючої системи централізованого тепlopостачання (або її доповнення) можлива із застосуванням комбінованого виробництва теплової та електричної енергії в автономних локальних системах енергопостачання за когенераційною технологією на сучасному високоефективному устаткуванні й із широким застосуванням відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) згідно з вимогами IV енергетичного переходу. Причому створення альтернативної системи (АСТП) можливо розтягнути у часі (якщо не йдеться про плановий ремонт) за рахунок поступового доповнення (step-by-step) того чи іншого устаткування, що забезпечує певну економію ресурсів і створює резерв для подальшого вдосконалення системи.

#### Список використаних джерел

1. Василенко В. І. Формування оптимальної структури локальної електроенергетичної системи на основі оцінки міри близькості розміщення об'єктів / В. І. Василенко // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2017. – № 1. – С. 36-46.
2. Bhati A. Energy conservation through smart homes in a smart city / A. Bhati, M. Hansen, C. Man Chan // A lesson for Singapore households Energy Policy. – 2017. – Vol. 104, May. – Pp. 230-239.
3. Kim M. J. Developing Design Solutions for Smart Homes Through User-Centered Scenarios / M.J. Kim, M. E. Cho, H. J. Jun // Front. Environmental Psychol. – 2020. – Vol. 11.
4. Гібридні когенераційно-геотермальні установки в системах теплозабезпечення / М. В. Боярчук, В. М. Сиротюк, В. Ю. Воробкевич, С. В. Сиротюк, М. Ф. Ольм // Ринок інсталяцій. – 2004. – № 4. – С. 13-15.
5. Єремєєв, І. С. Автоматизована система тепlopостачання для «розумного будинку» / І. С. Єремєєв, О. І. Єщенко / Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф (Чернігів, 14-16 трав. 2019 р.). – Чернігів : ЧНТУ, 2109. – С. 178-179.

#### References

1. Vasylenko, V.I. (2017). ormuвання optymalnoi struktury lokalnoi elektroenerhetychnoi systemy na osnovi otsinky miry blyzkosti rozmishchennia obiektiv [The formation of the optimal structure of the local electric power system based on the assessment of the degree of proximity of the placement of objects]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia – Energy: economics, technologies, ecology, 1*, 36–46.

2. Abhishek Bhati, Michael Hansen, Ching Man Chan. (May 2017). Energy conservation through smart homes in a smart city. *A lesson for Singapore households Energy Policy*, 104, 230-239.
3. Kim, M.J., Cho, M. E., & Jun H. J. (2020). Developing Design Solutions for Smart Homes Through User-Centered Scenarios. *Front. Environmental Psychol.*, 11.
4. Boyarchuk, V.M., Syrotyuk, V.M., Vorobkevich, V.Yu., Syrotyuk, S.V., & Olm, M.F. (2004). Hybridni koheneratsiino-heotermalni ustanovky v systemakh teplozabezpechennia [Hybrid cogeneration-geothermal installations in heat supply systems]. *Rynok instaliatsii – Installation magazine*, 4, 13-15.
5. Yermeev, I.S., & Yeshchenko, O.I. (2019). Avtomatyzovana systema teplopostachannia dlia «rozumnoho budynku» [Automated heat supply system for a “smart house”]. Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system: materialy IKh Mizhnar. nauk.-prakt. konf. – Materials of the IX International Science and Practice conference “Complex quality assurance of technological processes and systems” (pp. 178-179).

Отримано 24.05.23

UDC 621.31

**Ihor Yermeev<sup>1</sup>, Oleksandr Yeschenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automated Control of Technological Processes  
Tavri National University named after V. I. Vernaskyi (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [yermeyv@gmail.com](mailto:yermeyv@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1968/0395>

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal and Alternative Energy  
National Technical University of Ukraine “KPI named after Igor Sikorsky” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [doc44ent@gmail.com](mailto:doc44ent@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3915-486X>

**SYSTEMS OF AUTONOMOUS HEAT SUPPLY OF BUILDINGS**

*The critical energy infrastructure plays an important role in ensuring the energy security of the state, creating conditions for life of population and development of national economy. The work examines the problems of developing and designing an autonomous energy supply system as a component of critical energy infrastructure, it is necessary to analyze the functions of individual components of the system and the criteria that determine the energy efficiency of the system as a whole.*

*A sufficient number of scientific papers are devoted to the analysis of research and publications on the functional analysis of distributed energy systems, in particular, the formation of the optimal structure of the local electric power system based on the assessment of the degree of proximity of the location of objects with the use of cluster analysis for modeling systems based on the Microgrid concept is considered.*

*The purpose of the article is to develop the concept of an autonomous local energy supply system as a component of critical energy infrastructure in order to increase the level of energy security of the country.*

*The transformation of the existing system of centralized heat supply (or its addition) is possible with the use of combined production of heat and electricity in autonomous local energy supply systems using cogeneration technology on modern high-efficiency equipment and the widespread use of renewable energy sources (RES) in accordance with the requirements of the IV energy transition. This approach is harmonized with project development of the EU – European Technology Platform SmartGrid energy supply platform based on distributed generation and Smart technologies.*

*For the analysis of schematic solutions of the structure of the autonomous local energy supply system, the heuristic analysis technique was applied, which made it possible to optimize the management of energy resource generation processes, in the form of components: technical means (TK), informational (IS) and mathematical (MZ) support.*

*The paper provides a theoretical analysis of an autonomous heat supply system based on the principles of process modeling when using an automated control and energy monitoring system with self-learning elements.*

**Keywords:** energy infrastructure; thermal energy; cogeneration technology; distributed generation; heuristic analysis; optimal management; energy monitoring

Fig.: 1. References: 5.