

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-79-11>

УДК 620

НАГІРНИЙ Василь

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0009-0005-7825-8858>

e-mail: vasyl.nahirnyi@lpnu.ua

КУЦЬ Віктор

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-1698-414X>

e-mail: viktor.r.kuts@lpnu.ua

РОЗВИТОК ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ДВОКОНТУРНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

Дана стаття присвячена аналізу факторів ризику роботи усіх вузлів газових двоконтурних теплогенераторів, які вимагають постійного моніторингу, опрацювання варіантів їх побудови в поширених конструкціях, та дослідження шляхів інформаційного спраження сенсорних мереж з іншими системами кліматичного контролю (СКК).

Ключові слова: системи опалення, теплогенератори, системи кліматичного контролю (СКК), двофункційний теплогенератор, двоконтурні системи опалення.

NAHIRNYI Vasyl, KUTS Viktor

Lviv Polytechnic National University

DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC TOOLS OF SENSOR NETWORKS OF DOUBLE-CIRCUIT HEATING SYSTEMS

The heating system is one of the key elements of modern housing, which provides a level of comfortable climatic environment, as a determining factor of its market competitiveness.

The rapid development of microprocessor technologies, personal computers, individual means of communication, the Internet, and ultimately artificial intelligence over the past few decades opens up extremely wide opportunities for improving heating systems as a component of climate control of all types of buildings and structures.

Together with the climate control systems, other elements of the housing infrastructure developed at a rapid pace, in particular energy. Alternative sources of energy, such as solar, wind, low-power generators, which thanks to modern means of electronic and computer technology can quickly adapt to local natural and climatic conditions, use various orientations of housing elements relative to the sides of the world, features of the terrain, insolation or shading, dominant wind directions, vegetation, etc.

Such building intersections can provide significant savings in energy resources, increase the level of comfort, thus capitalizing on investments in research into ways to improve climate control systems.

This article is devoted to the analysis of the risk factors of the operation of all nodes of gas double-circuit heat generators, which require constant monitoring, the development of options for their construction in common structures, and the study of ways of informational conjugation of sensor networks with other climate control systems (CCS).

Key words: heating systems, heat generators, climate control systems (CCS), dual-function heat generator, dual-circuit heating systems.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Система опалення – один з ключових елементів сучасного житла, що забезпечує рівень комфортного кліматичного середовища, як визначального фактора його ринкової конкурентності.

Швидкий розвиток технологій мікропроцесорної техніки, персональних комп'ютерів, індивідуальних засобів комунікацій, мережі інтернету, в кінцевому - штучного інтелекту за останні кілька десятиріч відкриває надзвичайно широкі можливості для вдосконалення систем опалення, як компонента кліматичного контролю всіх типів будівель і споруд.

Разом з системами кліматичного контролю швидкими темпами розвивалися інші елементи житлової інфраструктури, зокрема енергетика. Масово впроваджуються в життя альтернативні джерела енергії, такі як сонячні, вітрові, генератори малої потужності, які завдяки сучасним засобам електронної та комп'ютерної техніки можуть швидко адаптуватися до локальних природньо-кліматичних умов, використовувати різноманітну орієнтацію елементів житла відносно сторін світу, особливості рельєфу, інсоляцію чи затінення, домінуючі вітрові напрями, рослинність, тощо.

Такі будівельні розв'язки можуть давати значну економію енергоресурсів, підвищувати рівень комфорту, капіталізуючи, таким чином, вкладення в дослідження шляхів вдосконалення систем кліматичного контролю (СКК).

Розширення функціональних можливостей СКК на основі сучасних сенсорних систем набуває актуальності не тільки з огляду на створення комфортного інтерфейсу для користувача, а й відкриває нові

напрями їх використання:

- моніторинг та діагностику режимів роботи усіх компонентів систем опалення, зокрема, газових теплогенераторів, в реальному часі;
- формування інформаційних масивів для обслуговування та ремонту обладнання;
- спостереження за параметрами систем протягом всього часу експлуатації, що є цінною інформацією для розробників та виробників.

Звичайно, такі ускладнення вимагають високої кваліфікації персоналу, що, за прогнозами аналітиків [1], в перспективі змін на ринку праці, може стати важливим фактором.

Особливої уваги потребують питання зміни стратегії використання сучасних сенсорів, які, завдяки помірній вартості і широким функціональним можливостям набувають автономного статусу, прив'язуються не до конкретних контрольно-вимірювальних функцій і пристроїв, а, радше, локалізуються у всіх важливих елементах конструкції в зонах технологічного процесу, що потребують безперервного контролю, а також є помічними для діагностики виробу у процесі обслуговування чи ремонту.

Такі сенсорні системи перетворюються на мережі, результати вимірювань передаються до пристроїв пам'яті, а їх комунікація з центральним керуванням відбувається за розробленими алгоритмами для організації керування всіма процесами і режимами роботи та діагностики.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою даної статті є аналіз будови, режимів роботи, факторів ризику основних вузлів двофункційних газових теплогенераторів та напрямів розвитку системи їх діагностики шляхом інтеграції сенсорної мережі в систему кліматичного контролю.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Позаяк, централізоване тепло- і водопостачання, яке домінувало кілька десятиріч тому, виявилось неефективним і у фінансово-економічному, і в енергетичному, і у експлуатаційному аспектах, на сьогодні в обладнанні індивідуального житла переважають системи опалення з теплогенераторами на природньому газі, що забезпечують гнучкість в технічних, експлуатаційних та економічних розв'язках. Індивідуальне опалення дозволяє самостійно регулювати температуру в помешканні, підтримувати потрібну температуру, вмикати та вимикати опалення в потрібний час, регулювати витрати на опалення [2].

Такі теплогенератори (в побуті — газові двоконтурні котли) виконують дві функції:

- теплопостачання;
- нагрівання води для санітарно-побутових потреб.

Основним елементом газового теплогенератора є система газового пальника і головного теплообмінника, які конструктивно об'єднані в камеру спалювання, що може бути “відкритою” (з природнім відведенням продуктів спалювання за рахунок різниці динамічних тисків в камері спалювання і назовні), або — “закритою” (з примусовою вентиляцією камери спалювання) [3].

Закрита камера спалювання має ряд переваг перед відкритою, бо:

- гарантує вищу безпеку, унеможливаючи потрапляння продуктів спалювання у приміщення;
- забезпечує краще спалювання, позаяк дає можливість регулювати співвідношення компонентів газоповітряної суміші;
- відкриває можливість розміщення всіх потрібних сенсорів у закритій камері спалювання для коректного моніторингу процесу горіння.

Теплообмінник забезпечує передачу тепла від газопарового потоку продуктів спалювання до теплоносія.

Природне відведення продуктів спалювання базується на різниці температур і, відповідно, густини газів у димарі, що створює тягу для відведення продуктів горіння, водночас як примусове димовидалення використовує вентилятори або аспіратори для створення необхідної тяги для видалення продуктів горіння. Обидві системи повинні включати аварійні механізми, такі як датчики диму, що автоматично відключають котел при виявленні проблем з тягою. Правильне управління тягою дозволяє підвищити загальну ефективність системи опалення, зменшити споживання пального і знижувати викиди забруднюючих речовин. Регулярне обслуговування системи відведення продуктів спалювання, включаючи чистку димаря та перевірку роботи вентиляторів, є важливим для збереження належної тяги і безпеки.

Значний вплив на ефективність теплопередачі має конденсація пари на стінках теплообмінника, наслідком чого є збільшення втрат тепла на повторне випаровування конденсату, та підвищення ризику корозії матеріалу теплообмінника.

Зменшення негативного впливу пароконденсату може досягатися як конструкцією теплообмінника, так і оптимізацією газоповітряної суміші.

Високу ефективність забезпечують т.зв. *конденсаційні* котли [4], в яких використовується подвійний теплообмінник, в одній частині якого відбувається початкове нагрівання теплоносія у зворотньому колі первинного контура за рахунок тепла, отриманого від конденсації пари зі системи відводу продуктів

спалювання, а в другій частині відбувається безпосереднє нагрівання теплоносія до потрібної температури. В такій структурі камери спалювання передбачений спеціальний відвід конденсату до каналізації.

Кількість конденсату, його хімічний склад, температура конденсату є важливими показниками якості як самого природного газу, так і якості процесу спалювання, і можуть бути використані для їх діагностики і регулювання.

Дуже ефективною конструкцією камери спалювання у конденсаційних котлах є сферична форма пальника зі сітковою поверхнею, виготовлена з каталітичного матеріалу, що забезпечує оптимальне спалювання газу з мінімізацією викидів NOx, які є найнебезпечнішими речовинами, що шкодять довкіллю і підлягають жорсткому нормуванню європейським екологічним правом [5].

У таких пальниках відбувається зміщення спектру теплового випромінювання в бік інфрачервоних хвиль, що дозволяє зменшити швидкість теплового потоку теплообмінника, стабілізує процес теплопередачі, запобігає локальному перегріву поверхонь теплообмінника, і, таким чином, продовжує його термін експлуатації.

Для діагностики процесу горіння в такому разі доцільно використати сучасні спектроскопічні сенсори, що можуть надати цінну інформацію для керування процесом горіння, а також діагностики стану пальника.

Двофункційний теплогенератор має два контури: теплопостачання та гарячого водопостачання для побутових потреб. Перемикання потоку теплоносія з одного контура в інший відбувається за допомогою двоходового клапана. Режими роботи контурів суттєво відрізняються. Так контур теплопостачання працює в режимі з малою швидкістю тапконосія зі сталою температурою, великим тепловим навантаженням та великою тепловою інерційністю. Контур гарячого водопостачання навантажений відносно малим, найчастіше пластинчастим теплообмінником проточного типу, а режим його роботи має піковий характер: швидко максимальне навантаження з різкою зміною температури теплоносія, і частими перехідними процесами нагрівання - охолодження.

Така різниця процесів потребує особливо ретельного контролю параметрів режимів роботи теплообмінників, обладнання їх відповідними сенсорами для керування системами спалювання газу та потоку теплоносія. Відповідно різними мають бути також діагностичні процедури, розробка яких передбачена наступними дослідженнями.

Тривала експлуатація теплообмінників може суттєво змінювати його технічні характеристики. Найхарактернішим видом таких змін є відкладення карбонатів на стінках, які ізолюють теплоносії від трубопровідної частини теплообмінника, збільшують його гідравлічний опір, звужують поперечний переріз, формують локальні перешкоди для теплоносія, спричиняючи точкові перегриви.

Такі відкладення є особливо дошкульними, а їх виявлення становить значну проблему.

Для дослідження стану теплообмінника нам видаються перспективними методи аналізу шуму при русі теплоносія в конкретних конструктивних елементах [6]. Вони можуть проводитися шляхом порівняння спектрів шуму в чистому теплообміннику, а також під час сервісних оглядів, що будуть інформативними для прийняття рішення про необхідність його промивання, або заміни, якщо результати свідчать про суттєве стоншення стінок трубопровідної частини і виникнення небезпеки розгерметизації гідравлічного кола.

Особливе місце в системі моніторингу мають займати питання безпеки двох частин теплогенератора: газової і електричної.

В газовій частині надзвичайно важливим є, так званий, контроль полум'я. Система контролю полум'я формує сигнал дозволу на відкриття головного газового клапана після ініціації режиму запалювання.

Поширені два варіанти будови системи контролю полум'я: зі стаціонарною свічкою або з електронним запалом. Кожна із систем має свої переваги і недоліки.

Стаціонарна свічка горить протягом усього робочого режиму теплогенератора, а її полум'я скероване на електрод гарячого з'луту термопари, термо-е.р.с якої генерує струм безпекового реле для утримання клапана свічки у відкритому стані. Таким чином, у разі аварійного зникнення газу у вхідній газовій мережі свічка гасне, термопара припиняє генерацію струму, а запобіжний клапан газового автомата закривається, не дозволяючи автоматичний запуск теплогенератора при повторній появі газу в мережі.

Така система захисту дуже надійна і використовується для теплогенераторів, що можуть працювати без електроенергії. Сервісна процедура мусить обов'язково містити діагностику цієї системи.

Принцип дії системи контролю полум'я з електронним захистом ґрунтується на вимірюванні іонізаційного струму, що виникає при успішному запалюванні контрольної допоміжної свічки після ініціації режиму запалювання пальника. Іонізаційний струм є відносно малим (одиниці, десятки мікроампер) і істотно залежить від стану поверхні електродів, між якими виникає іонізаційний струм.

Діагностика стану електродів та вимірювання іонізаційного струму є достатньо складною проблемою, має кілька поширених варіантів розв'язку, які потребують детальнішого розгляду та аналізу.

Експлуатація теплогенераторів з електронним контролем полум'я в умовах окремих районів м. Львова пов'язана з певними проблемами через особливості будови енергетичної мережі, що здійснюється за

схемою трикутника 3 х 220 В без нульового проводу. Системи контролю полум'я серійних теплогенераторів побудована для роботи в електричних мережах за схемою трифазної зірки з лінійною напругою 3х380 В з нульовим проводом, у якій напруга живлення побутових споживачів відбувається фазною напругою 220 В відносно нуля.

У будинкових мережах за схемою трикутника, на жаль, немає можливості забезпечення стабільності низького потенціалу одного з полюсів мережі. Тому, виникають збої в роботі системи захисту, відбувається блокування запуску котла. Багаторічний досвід експлуатації показує можливість розв'язку цієї проблеми шляхом електроживлення теплогенератора через спеціальний пристрій (“Трансформатор гальванічної розв'язки ТРГ-300”) [7]. Однак, ця проблема не має нормативно прийнятого розв'язку і потребує детального схемотехнічного аналізу і дослідження.

Необхідні також дослідження можливості використання ТРГ-300 для роботи котлів опалення від зарядних станцій, таких як EcoFlow, Bluetti, Anker та інші.

Вартим уваги є також діагностика якості електричної енергії від альтернативних джерел живлення (джерела безперебійної напруги), якими вимушено користується значна частина населення України, і які не завжди видають напругу, відповідну до стандартів якості електрики. Особливе значення має форма синусоїди, яка нормується відповідними параметрами.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Розвиток сенсорних мереж для діагностики стану основних елементів газових двофункційних теплогенераторів побутових систем кліматконтролю є актуальним і перспективним завданням. Проведений нами аналіз факторів ризику показує, що зміна парадигми застосування сенсорів від їх використання як елементів певних контрольно-вимірювальних пристроїв до організації інтегральної сенсорної мережі, відкриває можливості суттєво розширити коло пристроїв чи процесів, які підлягають контролю та діагностиці .

Проаналізовані причини проблем, що виникають у процесі тривалої експлуатації в гідравлічному колі теплогенератора, зокрема, відмінності теплового навантаження у контурах системи опалення та проточного постачання теплої санітарної води, сформульована задача організації динамічного контролю температури теплообмінника гарячого водопостачання і формування на цій основі сигналів керування системою пальника.

Показана необхідність детального аналізу проблеми нестабільності системи контролю плум'я у випадку живлення теплогенератора від електромережі за схемою трикутника 3х220 В, поширену в окремих районах м. Львова, та опрацювання можливих варіантів її розв'язку.

Окреслені шляхи використання сенсорної мережі для побудови діагностичної системи основних структурних елементів теплогенератора , які дозволяють постійно моніторити стан системи, виявляти аномалії та швидко реагувати на несправності..

Враховуючи зростаючу складність та інтеграцію сенсорних мереж у будівельні технології, питання розвитку нових методів діагностики набуває особливої актуальності.

Крім того, сучасні тенденції до автоматизації та розумних будівель вимагають впровадження більш інтелектуальних діагностичних інструментів, які можуть не лише виявляти, але й передбачати можливі несправності. Це дозволяє значно знизити витрати на обслуговування та підвищити загальну ефективність систем кліматконтролю.

References

- [1] <https://www.linkedin.com/pulse/future-work-how-technology-changing-workplace-joy-o-konyeha-loorf>
- [2] Переваги та недоліки індивідуальної системи опалення URL: <https://vn.com.ua/ua/news/preimuschestva-i-nedostatki-individualnoj-sistemyotoplenija> .
- [3] <https://www.velocityboilerworks.com/documents/106376-02-Raptor-.pdf>
- [4] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041730016X>
- [5] ВИМІРЮВАННЯ ВИКИДІВ НОx ГАЗОВИХ КОТЛІВ | MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES (khmnu.edu.ua)
- [6]https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%95%D0%9D%D0%9A%20%D0%B3%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE/other/tema_7_vimiryuvannya_tovshchini_detalej_akustichnim_sposobom.pdf
- [7]https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%27%D1%8F%D0%B7%D0%BA%D0%B0