

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ

А.М. Тігарєв¹, Т.Г. Тігарєва²

¹Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку, 65029, Україна, Одеса, вул. Ковальська, 1; e-mail: amtigar@ukr.net

²Одеська державна академія будівництва та архітектури, 65029, Україна, Одеса, вул. Дітріхсона, 4; e-mail: tatianatigareva@gmail.com

Розглядається варіант удосконалення автоматичних систем керування режимом спалювання природного газу в якості палива для водогрійних котлів. Метою удосконалення є оптимізація співвідношення газ-повітря для підтримання заданої температури в приміщеннях, що опалюються, в залежності від температури довокілья. У більшості використовуваних зараз водогрійних котлів підтримка співвідношення газ/повітря здійснюється відповідно до режимних карт без урахування економічного та екологічного спалювання газу, а також без автоматичного урахування температури навколишнього середовища. Прагнення до зменшення зайвих витрат палива викликає необхідність створення таких систем автоматичного керування, які б дозволяли підтримувати необхідну температуру теплоносія на виході котла при різних температурах довокілья. Основним принципом підвищення ефективності є максимально можливе використання наявної (нижчої) теплоти згоряння Q_n^p . Основними складовими втрат теплоти при цьому є втрати з газами, що відходять q_2 , і втрати від так званого хімічного недопалу q_3 . Обидва ці показники тісно пов'язані з коефіцієнтом надлишку повітря α у факелі палаючого палива, від якого залежить і кількість шкідливих викидів в атмосферу. В роботі проаналізовано кілька видів систем регулювання співвідношення «паливо-повітря», відзначено їхні переваги та недоліки. Зроблено висновок, що найбільшого позитивного ефекту можна досягнути тільки при використанні систем безперервного автоматичного контролю й регулювання співвідношення «паливо-повітря». Запропоновано структуру системи керування, що стежить за температурою довокілья та відповідно до неї змінює температуру на виході котла. При цьому для забезпечення здатності системи працювати в значному діапазоні температур довокілья та підтримання економічного спалювання палива пропонується застосування адаптивних ПД регуляторів на підставі табличної зміни їх налаштувань. Для забезпечення екологічного спалювання палива застосовано режим «відскоку». Проведене моделювання для однієї температури показало можливість практичного використання подібної системи в системах опалення приміщень за допомогою котлів малої потужності.

Ключові слова: водогрійний котел, регулювання температури, співвідношення газ-повітря, регулятор, режим відскоку, моделювання, концентрація CO.

Вступ

Безперервний ріст цін на усі види палива змушує до пошуку шляхів підвищення ефективності його спалювання. При цьому важливо, щоб вироблення теплової енергії у будь-який момент часу мало відповідати заданому навантаженню. Найбільше поширення для отримання теплової енергії одержало використання природного газу. Тому подальший розгляд проблеми ефективності використання палива буде присвячений лише котельним агрегатам, які працюють на газі. При спалюванні газу в атмосферу здійснюється викид шкідливих речовин, отже, крім економічної, виникає також екологічна потреба оптимального спалювання газу. Незважаючи на статус «малої» енергетики, комунальні та промислові котли займають значне місце у споживанні палива. Оптимізація режиму горіння в топках енергетичних котлів залишається актуальною. Це стосується і водогрійних котлів. Враховуючи сучасні тенденції побудови котелень малої та середньої потужності для опалення окремих багатоквартирних будинків, підприємств малої потужності та об'єктів житлово-комунального господарства (ЖКГ), удосконалення систем керування для них є актуальним. На

більшості водогрійних котлів у комунальній теплоенергетиці оптимізація спалювання газоподібного палива до сьогоднішнього дня знаходиться на рівні підтримки співвідношення газ/повітря відповідно до режимних карт без урахування економічного та екологічного спалювання газу. Також, у них не передбачено завдання автоматичного регулювання теплового навантаження опалювальних котлів відповідно до коливань температури навколишнього середовища. Тенденція до зменшення витрат палива при використанні водогрійних котлів викликає необхідність створення систем автоматичного керування, які необхідні для подальшого використання в енергоекономічних та екологічних системах з метою підтримання температури теплоносія на виході котлів при різних температурах довкілля.

Мета роботи

Метою роботи є розробка варіанта вдосконалення такої автоматичної системи, яка стежить за температурою довкілля і дозволяє забезпечити необхідну температуру води, яка подається в систему опалення, тобто на виході котла. Тому далі буде розглядатися не загальна система регулювання котельним агрегатом, а виключно режим підтримання температури води на виході котла з підтриманням режиму енергоекономічного спалювання палива.

Матеріали та методи

У більшості випадків при промисловому спалюванні палива основним принципом підвищення ефективності є максимально можливе використання наявної (нижчої) теплоти згоряння Q_n^P . Основними складовими втрат теплоти при цьому є втрати з газами, що відходять q_2 , і втрати від так званого хімічного недопалу q_3 . Обидва ці показники тісно пов'язані з коефіцієнтом надлишку повітря α у факелі палаючого палива. Від цього ж коефіцієнта залежить і кількість шкідливих викидів в атмосферу [1, рис.1].

У більшості пристроїв спалювання газового палива, що застосовуються в даний час, оптимізація режиму горіння забезпечується шляхом підтримки співвідношення витрат газу і повітря (тиску перед пальним пристроєм) відповідно до режимної карти. Такий спосіб є недостатньо ефективним, він не дозволяє вести облік зміни температури та вологості повітря, теплотворної здатності та температури газу та низки інших зовнішніх факторів. У зв'язку з цим при складанні режимних карток допускають наявність значного надлишку повітря, щоб ні за яких умов не допустити виникнення хімічного недопалу газу. В результаті в деяких режимах кількість повітря перевищує оптимальне в 1,5-2 рази, що збільшує витрату електроенергії на дуття і призводить до необхідності нагрівання надмірної кількості повітря, що подається, тобто до додаткової витрати пального [2].

Аналіз процесу горіння газоподібного та рідкого палива показує, що при нестачі кисню проявляється різке підвищення концентрації оксиду вуглецю (CO). Відповідно, система регулювання процесу горіння, яка заснована на вимірюванні концентрації CO, матиме більш високу чутливість до відхилення режиму горіння від оптимального. Регулювання при цьому може зводиться до підтримки режиму горіння газу на межі хімічного недопалу, що дозволяє враховувати зміни більшості інших чинників, які впливають на якість спалювання палива [3].

Розроблені автоматичні системи оптимізації співвідношення «паливо-повітря», які побудовані з використанням стаціонарних газоаналізаторів, ведуть процес регулювання за величиною вмісту кисню у газах, що відходять. На деяких типах котлів ці системи регулювання обов'язково передбачені проектною документацією. Однак зазначені системи, як правило, не працюють у режимі регулювання, а газоаналізатор використовується у моніторинговому режимі, що обумовлено низкою причин [4]:

– концентрація кисню в димових газах залежить не тільки від інтенсивності дуття, але і від інших умов експлуатації (неконтрольоване підсмоктування повітря, зміна характеристик пальників у процесі експлуатації, неідентичність пальників у багатогорілкових котлах, зміна теплотворної здатності палива, коливання вологості

повітря), що, свою чергу, знижує ефективність роботи системи з регулюванням за величиною вмісту кисню;

– обмежене поширення контролерів, які мають стійкі (надійні) алгоритми роботи з газоаналізаторами (багато з розроблених алгоритмів регулювання не враховують перехідні процеси в топці при зміні потужності).

Більш досконалі автоматичні системи оптимізації співвідношення газ/повітря, побудовані з використанням стаціонарних газоаналізаторів, які ведуть процес регулювання з корекцією по концентрації кисню O_2 , діоксиду вуглецю CO_2 або продуктів недопалу CO , H_2 і ін. у газах, що відходять з котла [5, 6]. Однак у цих роботах не розглядається, як проводиться процес регулювання й не розглядаються питання вибору необхідних режимів роботи котла для різних температурних режимів. Безумовно, при реалізації таких режимів буде спостерігатись зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) котельного агрегату, тому що всі котли розраховуються для роботи в номінальному режимі з максимальним ККД. Тому виникає потреба вибору пріоритетів: або зниження витрати газу при роботі з урахуванням температури доквілля і зменшення шкідливих викидів в атмосферу, або досягнення максимального ККД. На нашу думку, на теперішній час перший пріоритет є більш вагомим.

На практиці застосовується кілька видів систем регулювання співвідношення «паливо-повітря» [7, 8]. Найпоширеніші з них:

1. Система регулювання процесом горіння, у якій підтримується співвідношення «паливо-повітря» відповідно до заздалегідь підготовленої режимної карти [8]. Недоліком цієї системи є труднощі складання режимної карти і її неефективність за певних умов (зношування технологічного устаткування, зміна складу палива і т. і., що призводить до виникнення статичної помилки регулювання).

2. Система регулювання процесом горіння, у якій відбувається екстремальне керування зі зворотним зв'язком по тому або іншому показнику якості роботи котельної установки [9]. Недоліком цієї системи є недостатня швидкодія й низька перешкодозахищеність.

3. Система регулювання процесом горіння за складом димових газів. Відомі наступні методи керування [4, 8]: за концентрацією залишкового кисню (O_2) у продуктах згоряння; за концентрацією продуктів хімічного недопалу ($CO_{екв} = CO + H_2 + CH_4$); з використанням спільної інформації про концентрацію O_2 і продуктів неповного згоряння (CO). Ці методи засновані на сучасних датчиках – газоаналізаторах, які розроблені в останні роки [2, 3, 10].

Наступним логічним етапом енергоекологічної оптимізації спалювання палива є впровадження технологічних рішень, що спрямовані на організацію горіння з низьким або гранично низьким коефіцієнтом надлишку повітря. Позитивного ефекту можна досягнути тільки при використанні систем безперервного автоматичного контролю й регулювання співвідношення «паливо-повітря». Це – найбільш маловитратний і ефективний спосіб економії палива з одночасним зменшенням утворення шкідливих речовин у топці [1, 2, 3]. При цьому необхідно підтримувати подачу повітря таким чином, щоб значення коефіцієнта знаходилось в досить вузькій області, нижню границю якої визначає поява слідів оксиду вуглецю (на рівні 100-300 ppm), а верхню – зростання втрат теплоти з газами, що відходять, й підвищення інтенсивності утворення оксидів азоту, що супроводжує зростання концентрації вільного кисню.

З технічної літератури відомі наступні підходи до керування [8, 11]:

– для котлів з постійним навантаженням кращим є регулювання за співвідношенням «паливо-повітря» з вибором співвідношення концентрації CO , CO_2 , O_2 – системи стабілізації співвідношення витрат «паливо-повітря» з корекцією за складом газів, що відходять; система екстремального регулювання горінням палива в котельному агрегаті;

– для котлів зі змінним навантаженням доцільна робота на межі хімічного недопалу, тобто з циклічним зниженням витрати повітря до появи різкого зростання концентрації CO, із наступним мінімальним збільшенням витрати повітря, щоб уникнути хімічного недопалу, якій має назву «режим відскоку» [4].

Контролери із вбудованим алгоритмом регулювання по оксиду вуглецю почали випускати різні виробники. Зокрема, у лінійці контролерів «СПЕКОН СК-п» (виробництво НВФ «Теплоком») реалізовано алгоритм використання газоаналізатора для корекції співвідношення «паливо-повітря» з урахуванням наявності в газах, що відходять, не тільки CO, але й O₂, а також з урахуванням впливу перехідних процесів у топці при зміні потужності [4]. При виході тиску повітря за припустимі межі коригувальний сигнал від газоаналізатора не враховується при регулюванні.

Основна частина

Протягом опалювального сезону температура довкілля може коливатися від плюс 10°C до мінус 25°C. При цьому параметри котла як об'єкта керування теж змінюються. Теплотехнічні розрахунки показують, що при таких умовах температура води на виході котла має змінюватися від 48°C до 150°C. Графік залежності температури на виході котла при заданій температурі 18°C в приміщеннях, які опалюються, від температури довкілля приведені в [8, рис. 2.9]. Система регулювання температури на виході котла має стежити за температурою довкілля, тобто бути такою, що слідкує. Існуючі типові регулятори при постійних налаштуваннях не в змозі працювати в такому широкому діапазоні. Отже, регулятор має бути адаптивним, тобто змінювати свої параметри в процесі роботи. Розробка такого регулятора представляє значні труднощі, і супроводження їх також буде складним. Оскільки в технічних системах на сьогоднішній день найбільш поширені регулятори ПІД сімейства і використовуються вони в 90-95% контурів регулювання [12-14], перевагу слід віддати їм. Відомо, що регулятори ПІД-сімейства добре працюють у діапазоні $\pm 10\ldots 20\%$ від заданого значення [12]. Найбільш простим методом адаптації ПІД-регулятора до змінних властивостей об'єкта керування є табличне керування коефіцієнтами регулятора. Воно може бути використано не тільки для адаптивного керування, але й для керування нелінійними об'єктами, нестационарними процесами, при необхідності змінювати параметри залежно від деяких умов [12, 15, 16].

Для розробки такої системи керування необхідно визначити для неї певні вимоги:

- час запізнення зміни температури на виході котла при зміні температури довкілля на $\pm 5^\circ\text{C}$ не має перевищувати $\approx 1 \dots 1,5$ годин;
- відхилення температури від номінального значення на виході котла не має перевищувати $\pm 2,5^\circ\text{C}$.

Базуючись на графіку [8, рис. 2.9], пропонується модель системи регулювання температури води на виході водогрійного котла, яка забезпечує підтримку необхідної температури залежно від коливань температури довкілля.

Структурна схема системи регулювання, що стежить, в загальному вигляді матиме наступний вигляд (рис. 1).



Рис. 1. Структурна схема системи регулювання температури води на виході котла

Інформація від датчика температури довкілля надходить у блок формування графіка температурного режиму. Оскільки температура довкілля не змінюється миттєво, слід вибрати крок графіка змін завдання температури води на виході котла: наприклад,

змінювати завдання кожні дві години для добового режиму. Таким чином, отримаємо таблицю з 12 значень температури, що задається.

Крім того, враховуючи, що параметри котла також змінюються для різних режимів, для кожного значення температури необхідна ще наявність банку даних про параметри котла, які можуть змінюватися в часі. Тобто, необхідно сформувати загальний банк даних із двох груп параметрів (за температурою та параметрами котла) для налаштування ПІД регуляторів.

Оскільки реалізація цих завдань не становить складності, основний вплив приділимо побудові моделі системи регулювання температури для одного заданого значення, що дорівнює 55°C . Так як при роботі котла для оптимального горіння газу в топці необхідно підтримувати невеликий надлишок повітря (тобто співвідношення повітря-газ – $\alpha = 1,05 \dots 1,1$), застосуємо регулятор співвідношень для подачі газу та повітря в топку котла [12, 17]. Оскільки в якості окиснювача для виконання хіміко-фізичного процесу горіння застосовується повітря, у складі якого кисень, необхідний для підтримки горіння, становить усього п'яту частину, а точніше, $20,93\%$ – саме таке процентне співвідношення прийнято використовувати для всіляких технічних розрахунків. Тобто повітря знадобиться в 9,52 рази більше, ніж кисню. Ця кількість повітря, яка необхідна для ефективного горіння газу, є теоретичною витратою. Але, коли особлива точність не потрібна, те отримане значення 9,52 просто множити на так званий коефіцієнт надлишку повітря. Значення цього коефіцієнта звичайно лежить у межах $\alpha = 1,04 - 1,2$ [1–7, 11, 18]. В результаті повітря треба подавати в $9,996 \approx 10$ разів більше.

В зв'язку з розповсюдженням котлів серії ДКВР, які можуть працювати в водогрійному режимі, оберемо для подальшого моделювання котел типу ДКВР-10-13-255ГМ з вентилятором ВДН 10, якій має потужність двигуна 11 кВт. Для регулювання витрати повітря застосуємо частотний перетворювач з стандартним керуючим токовим сигналом $4 \dots 20$ мА. Модель котла, як об'єкта керування, складається з каналу подачі газу й повітря в пальник, самого пальнику, топки котла й барабана котла. У канал подачі газу входять: двигун вентиля подачі газу і вентиль газу у вигляді ланок першого порядку й блоку обмеження (Saturation), що враховує межу відкриття вентиля на 100% ходу регулювального органу. Канал подачі повітря складається з блоку Gain, що забезпечує співвідношення витрат газу й повітря у вигляді підсилювача, а також частотного перетворювача (блок Gain1) для двигуна вентилятора, який подає повітря в топку, з електродвигуном у вигляді ланки першого порядку. Пальник (Burner) представлений у вигляді суматора, на виході якого сформована газоповітряна суміш, що згоряє в топке, а топка й котел представлені у вигляді ланок першого порядку [19, 20].

Вузол $T_{\text{вода}}-F_{\text{газ}}$ реалізовано з застосуванням блоку одномірної таблиці Look-Up Table на підставі експериментальних даних для аналогічних котлів. Регулятор співвідношення газ – повітря реалізовано за типовою схемою, у якій стабілізація витрати газу виконується верхнім регулятором (PID Controller1), а стабілізація витрати повітря нижнім регулятором (PID Controller2) [12, 17]. Для підвищення якості регулювання регулятор співвідношення охоплений загальним зворотним зв'язком з виходу котла. Таким чином, уся система регулювання являє собою каскадну систему та має наступний вигляд (рис. 2).

Налаштування регулятора виконано за допомогою вбудованого в MATLAB тюнера таким чином, щоб перехідний процес був аперіодичним без перерегулювання. Оскільки більшість застосованих пристроїв має значний час для досягнення номінальних режимів, приймемо хвилину в якості кроку моделювання.

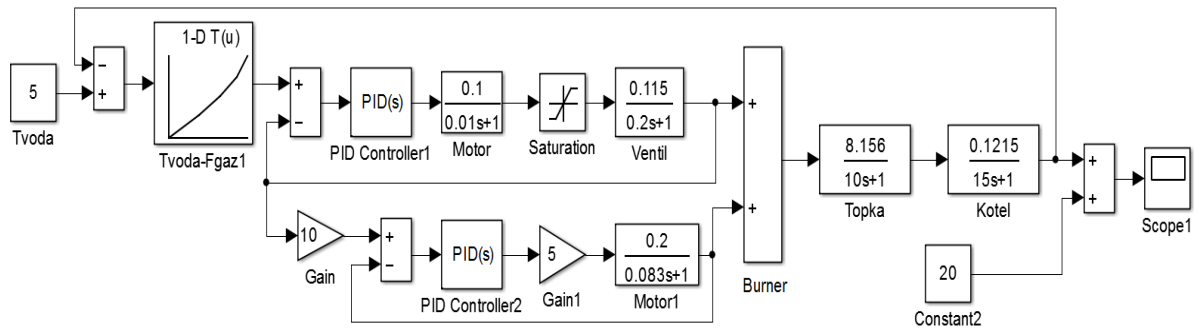


Рис. 2. Модель системи регулювання температури води на виході котла

Результат моделювання зі збуренням показують, що система досягає задане значення за час близько в 1,5 години, що є цілком припустимим для систем опалення в ЖКГ [8]. Таким чином перехідний процес, який було отримано при моделюванні каскадної системи з регулятором співвідношення газ-повітря показує, що вона забезпечує економічний режим опалення. Виконавши аналогічне моделювання для різних значень температур довкілля та отриманих значень параметрів регулятора можливо створити банк даних для впровадження запропонованої системи регулювання.

Для розгляду можливості реалізації поліпшення екологічності спалювання газу застосуємо запропонований в [2] алгоритм циклу «зниження-відскок-підтримка». Цей алгоритм в словесному вигляді розглянуто далі. Він передбачає завдання швидкості зниження витрати повітря, величину різкого зниження (стрижку) витрати повітря з появою хімічного недопалу, а також час нечутливості, протягом якого підтримується стала витрата повітря, після чого знову починається її зниження. Такий підхід дозволяє вести процес оптимальним чином на всіх режимах, при практично будь-яких змінах умов експлуатації й з будь-якими регуляторами й виконавчими механізмами.

Згідно з словесним алгоритмом блок схема циклу «зниження-відскок-підтримка» буде мати наступний вигляд (рис. 3).



Рис. 3. Блок схема алгоритму «зниження-відскок-підтримка»

Реалізацію цього алгоритму виконано в програмному пакеті MATLAB-Simulink з застосуванням стандартних блоків.

Пояснимо вибір числових значень основних параметрів блоків алгоритму «зниження-відскок-підтримка», так як вони дозволяють застосувати дану модель для різних типів котлів та режимів. Значення концентрації CO обумовлено нормативними документами для котельних агрегатів. Однак, звичайно ці значення є значно завищеними, і тому пропонується використовувати дані нижче чим ті, які наведені в [3, 4, 6], тобто для прикладу прийmemo $Q_{COmax}=500$ ppm, а значення $Q_{COmin}=30$ ppm. Затримку на підпал та вихід котлу на сталий режим прийmemo рівною 100 хв.

Параметри, які характеризують пристрої котла, мають бути постійними. А більшість параметрів, які представляють режимні параметри, можуть бути змінені при імітаційному моделюванні. Наприклад, при зміні режимів котельного агрегату, для визначення кількості ступенів часу відскоку і кількості ступенів режимів потужності двигуна вентилятору, для подання повітря на горілку котлу.

Кількість ступенів часу відскоку прийmemo для прикладу рівною 3. Слід враховувати, що кількість блоків, які визначають кількість ступенів сигналу для зміни потужності вентилятору повітря, має буди на один більше. Це пов'язано з тим, що спочатку двигун в період часу, яка дорівнює 1 хв., при перевищенні концентрації CO продовжує працювати в номінальному режимі, потім підвищує потужність до значення, яке близьке до максимального. Далі потужність двигуна зменшується. Конкретний вибір кількості ступенів зниження обумовлено, з одного боку, потужністю двигуна, а з другого плавністю зниження його потужності для зменшення зносу. Наприкінці потужність двигуна стає номінальною.

Як показано в [1, рис. 1], коливання концентрації кисню O_2 незначно змінюються при роботі котлу, а коливання окису вуглецю мають різке виражений характер, тому пропонується досліджувати тільки вплив максимальної концентрації CO на температуру на виході котла. Загальний вигляд моделі для дослідження впливу режиму відскоку на температуру на виході котла при збуренні по завданню має наступний вигляд (рис. 4).

Проведене моделювання системи керування температурою на виході котла в режимі екологічного спалювання палива показало короткочасний сплеск температури, якій не впливає на якість регулювання. Результати моделювання показані на рис. 5.

Для зручності моделювання з урахуванням збурень модель для виконання циклу «зниження-відскок-підтримка» представлена в вигляді підсистеми Subsystem1, а модель збурень в каналі подання повітря в вигляді підсистеми Subsystem.

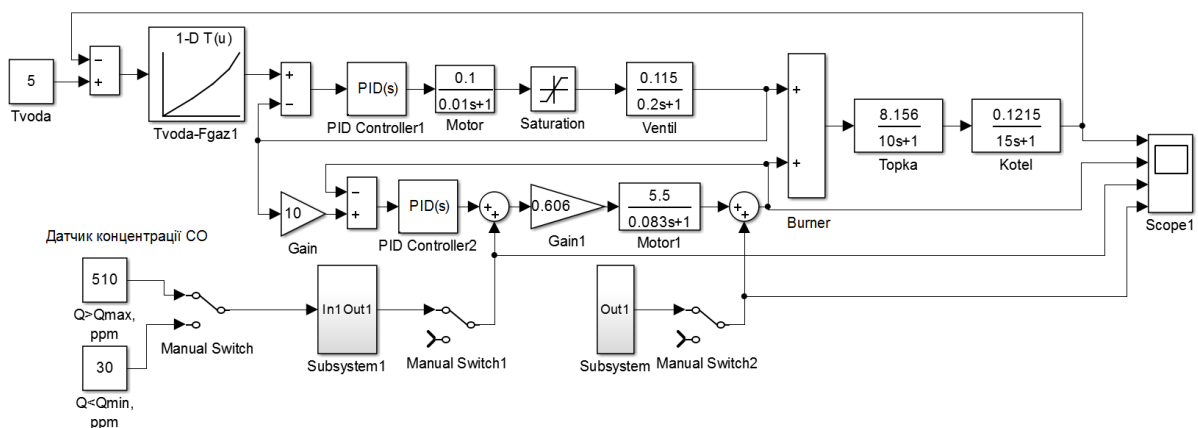


Рис. 4. Модель системи регулювання температури на виході котла з урахуванням режиму «відскоку» та збурень в каналі подання повітря

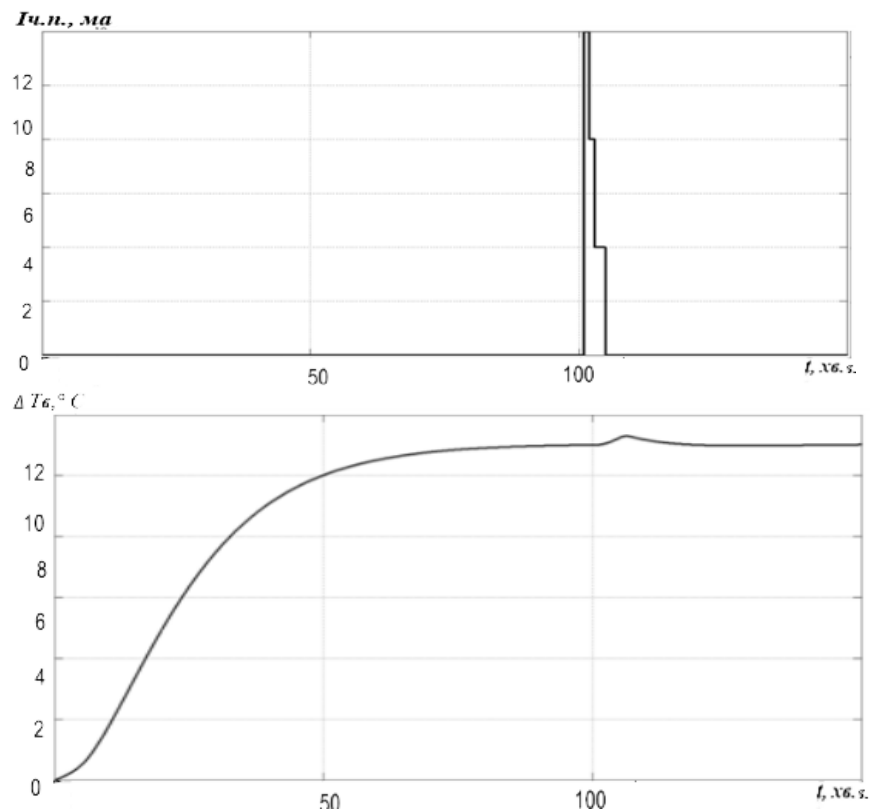


Рис. 5. Вплив «відскоку» зміною струму на вході частотного перетворювача для вентилятору повітря на перехідний процес по зміні завдання по температурі

Аналіз перехідного процесу, що отримано в результаті моделювання, показують, що запропонована модель відповідає вимогам, які пред'являються до підтримання температурного режиму на виході котла.

Висновки

В роботі запропонована структура системи керування, що стежить за температурою доквілля та відповідно до неї змінює температуру на виході котла. При цьому для можливості забезпечення здатності системи працювати в значному діапазоні температур доквілля та підтримання економічного спалювання палива пропонується застосування адаптивних ПД регуляторів на підставі табличної зміни їх налаштувань. Для забезпечення енергоекологічного спалювання палива застосовано режим «відскоку». Проведено моделювання для однієї температури показало можливість використання подібної системи в системах опалення приміщень за допомогою котлів малої потужності.

Список літератури

1. Новиков О.Н., Окатьев А.Н., Шкаровский А.Л. Автоматическое управление качеством сжигания топлива – ключ к энергосбережению и энергоэкологической безопасности предприятия. *Инженерные системы*. 2011. №1. С. 38-43.
2. Тележко Г.М., Ягов Г.В. Современные методы обеспечения ресурсоэнергосбережения в теплоэнергетике и теплоснабжении. *Энергетика Татарстана*. 2009. № 1. С. 27-32.
3. Шкаровский А.Л., Новиков О.Н. Новикова А.В., Полушкин В.И. Разработка нового семейства интеллектуальных систем управления качеством сжигания топлива *Современные наукоемкие технологии*, 2016. № 12-3, С. 556-561.
4. Тележко Г.М., Хойна Е.В., Ягов Г.В. Новый подход к оптимизации режимов горения топлива. *Энергоназор-Информ*. 2008. №1. С. 26-28.

5. Росляков П.В., Плешан К.А. Использование сжигания топлива с контролируемым химическим недопалом. *Новое в российской электроэнергетике*. 2010. Т.1. №1 (23). С. 12-30.
6. Воликов А.Н., Новиков О.Н., Окадьев А.Н. Энергоэкологическая эффективность сжигания газового и жидкого топлива в котлах малой и средней мощности. *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 4. С 88-98.
- 7 Воликов А.Н. Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности. Ленинград : Недра, 1989. 159 с.
8. Бузников Е.Ф., Роддатис К.Ф., Берзиньш Э.Я. Производственные и отопительные котельные. М.: Энергоатомиздат, 1984. 248 с.
- 9 Авдеева, О. В. Система экстремального регулирования горением топлива в котельной установке. *Вестник Пензенского государственного университета*. 2015. Т.1. № 3 (11). С. 167–174.
10. Анализаторы дымовых газов комбинированные (интеллектуальный анализатор качества горения) URL: <https://www.testo.ru/ru-RU/produkty/analizator-dymovuyh-gazov>.
11. Новиков О.Н., Артамонов Д.Г., Шкаровский А.Л., Кочергин М.А., Окадьев А.Н. Энергоэкологическая оптимизация сжигания топлива в котлах и печах регулированием соотношения «топливо – воздух». *Промышленная энергетика*. 2000. Т. 1. № 2 (79). С. 46-48.
12. Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID control. The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006. 460 p.
13. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. М.: МЭИ, 2008.
14. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высшая школа, 1989.
15. Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Шубладзе А.А. Адаптивные автоматически настраивающиеся ПИД-регуляторы. *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2003. № 6.
16. Шубладзе А.М., Кузнецов С.И. Автоматически настраивающиеся промышленные ПИ и ПИД-регуляторы. *Автоматизация в промышленности*. 2007. № 2.
17. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации. *СТА*. 2007. №4. С. 86 – 97.
18. Андросов А.С., Бегишев Е.П., Салеев И.Р. Теория горения и взрыва. М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. 248с.
19. Документация MATLAB URL: <https://docs.exponenta.ru> .
20. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. Москва : ДМК Пресс, 2008.
21. Ощепков А.Ю. Системы автоматического управления: теория, застосування, моделювання в MATLAB URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=5848
22. Бочаров Г.В., Тигарев А.М. Моделирование начальной стадии температурного цикла нагрева конвейерной печи. *Збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції Економіка та управління в умовах побудови інформаційного суспільства*. 2017. Ч. II. С. 46-49.

IMPROVEMENT OF HEATING BOILERS REGULATION SYSTEMSA.M.Tigarev¹, T.G. Tigareva²

1 State University of Intellectual Technologies and Communications, 65029, Ukraine, Odesa, st. Kovalska, 1; e-mail: amtigar@ukr.net

2 Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 65029, Ukraine, Odesa, st. Didrichson, 4; e-mail: tatianatigareva@gmail.com

The article considers the option of improving the automatic control systems for natural gas combustion as a fuel for boilers. The aim of the improvement is to optimize the gas-air ratio to maintain the set temperature in the heated rooms, depending on the ambient temperature. In most of the currently used hot water boilers, the gas / air ratio is maintained in accordance with the regime maps without taking into account the economic and environmental combustion of gas, without automatically taking into account the ambient temperature. The desire to reduce excess fuel consumption necessitates the creation of automatic control systems that would maintain the required temperature of the coolant at the boiler outlet at different ambient temperatures. The main principle of increasing efficiency is the maximum possible use of available (lower) heat of combustion Q_{nP} . The main components of losses of warmth at the same time are losses with q_2 flue gases and losses from so incomplete combustion of q_3 fuel. The amount of harmful emissions into the atmosphere depends of both of these indicators that are closely related to the coefficient of excess air α in the burning fuel flare. The paper analyzes several types of fuel-air ratio control systems, notes their advantages and disadvantages. It is concluded that the greatest positive effect can be achieved only with the use of systems of continuous automatic control and regulation of the fuel-air ratio. The article proposes the structure of the control system that monitors the ambient temperature and changes the temperature at the boiler outlet accordingly. At the same time, in order to be able to operate the system in a significant range of ambient temperatures and maintain economical fuel combustion, the use of adaptive PID controllers is proposed on the basis of tabular changes in their settings. To ensure environmentally friendly fuel combustion, a "rebound" mode is used. The simulation of temperature change in the control system showed the possibility of its practical for house heating systems with low-power boilers.

Keywords: boiler, temperature regulation, gas-air ratio, regulator, rebound mode, modeling, CO concentration