

- loelektricheskogo i mekhanicheskogo sostoianiia vysokotemperaturnykh agregatov* [Theoretical and experimental studies of the thermoelectric and mechanical state of high-temperature aggregates]. Kyiv, NTUU «KPI» Publ., 2012, 356 p. (Rus.)
12. Panov Ye.M., Karvac'kyj A.Ja., Kutuzov S.V., Leleka S.V., Stepura P.V. Modeljuvannja grafituvannja naftovogo koksu v shahtnij elektropechi neperervnoi' dii' [Modeling of the oil coke graphitizing in a continuous electric shaft furnace]. *Visnyk Nacional'nogo tehničnogo universytetu Ukrainy* «Kyiv's'kyj politehničnyj instytut». Serija «Himichna inzhenerija, ekologija ta resursozberezhennja» – *Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»*. Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving», 2011, no. 1, pp. 48-52. (Ukr.)
  13. Borodulia V.A. *Vysokotemperaturnye protsessy v elektrotermicheskom kipiashchem sloe* [High-temperature processes in the electrochemical fluidized bed]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1973, 173 p. (Rus.)
  14. Petrov B.F. *Energoberezhenie pri proizvodstve elektrodnoho termoantratsita* [Energy saving in the electrode thermoanthracite production]. Kiev, Ekotekhnologija Publ., 2006, 144 p. (Rus.)
  15. Gasik M.I., Tsybulia E.I., Bezuglyi A.V. Upravlenie protsessom prokalivaniia antratsita po izmeriaemoi velichine padeniia napriazheniia v antratsitovoi zagruzke elektrokalk'insinatora [Control of anthracite calcination process by measured value of drop in voltage in anthracite loading of electrocalcinators]. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost' – Metallurgical and mining industry*, 2009, no. 5, pp. 31-35. (Rus.)
  16. Timpanova Zh.L., Nemirovskii I.R., Arlievskii M.P., Kisilev A.M., Sapov Iu.N., Deriabin A.S., Lifson M.I., Margulis S.Z., Rovinskii V.A., Bogdanov L.A. *Elektrodnaia massa dlia samoobzhigaiushchikhsia elektrodov rudovosstanovitel'nykh pechei i sposob ee polucheniiia* [Electrode mass for ore reduction furnaces self-baking electrodes and the method for obtaining it]. Patent RU, no. 2121989. (Rus.)

Рецензент: Є.М. Панов  
д-р техн. наук, проф., КПІ ім. Сікорського

Стаття надійшла 24.02.2019

УДК 622.83

doi: 10.31498/2225-6733.38.2019.181487

© Добровольська Л.О.<sup>1</sup>, Литвиненко С.Е.<sup>2</sup>

### МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ

У статті розглядаються питання управління температурою перегрітої пари в котельних агрегатах. Температура повинна підтримуватися близькою до своєї величини, заданої при проектуванні агрегату, незалежно від характеру режиму роботи і навантаження котла. Пропонується математичну модель системи регулювання температури перегрітої пари з урахуванням наявних на реальному об'єкті нелінійностей. Встановлено, що система управління адекватно реагує на обурення і відновлює задану температуру перегрітої пари, змінюючи при цьому необхідні параметри системи. Пропонується здійснити модернізацію системи регулювання температурного режиму котельного агрегату за допомогою установки нового пароохолоджувача VariCool і системи діагностики вібрації регулюючих клапанів.

**Ключові слова:** автоматичне регулювання, котельний агрегат, температура пари, пароперегрівач, пароохолоджувач, регулюючий клапан, уприскування «власного» конденсату, ентальпія пари, математична модель.

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, [ludmila.dobrovolskaya@ukr.net](mailto:ludmila.dobrovolskaya@ukr.net)

<sup>2</sup> студент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

*Добровольская Л.А., Литвиненко С.Э. Модернизация системы регулирования температурного режима котельного агрегата. В статье рассматриваются вопросы управления температурой перегретого пара в котельных агрегатах. При регулировании температуры пара на современных котлах предъявляются особые требования к точности поддержания температуры на заданном уровне. Температура должна поддерживаться близкой к своей величине, заданной при проектировании агрегата, независимо от характера режима работы и нагрузки котла. При снижении температуры происходит не только падение экономичности всей установки, но и увеличение вероятности аварийных ситуаций. Повышение температуры приводит к деформации и преждевременному износу металла котлоагрегата, что в результате приводит к аварийной остановке котла. Задача управления температурой перегретого пара в котлоагрегатах также актуальна в связи со старением оборудования. Приведенные факты позволяют сделать вывод, что проблема поддержания температуры является одной из важнейших задач в управлении котлоагрегатом. Проведен обзор научно-информационных источников по данной теме. Как следует из приведенного выше анализа, в настоящее время задача управления температурой перегретого пара изучена не полностью. Предлагается математическая модель системы регулирования температуры перегретого пара с учетом имеющихся на реальном объекте нелинейностей. Установлено, что система управления адекватно реагирует на возмущения и восстанавливает заданную температуру перегретого пара, изменяя при этом необходимые параметры системы. Предлагается осуществить модернизацию системы регулирования температурным режимом котельного агрегата с помощью установки нового пароохладителя VariCool и системы диагностики вибрации регулирующих клапанов, которая позволит превентивно определять возможные неисправности и частично диагностировать состояние оборудования в реальном времени во время работы агрегата, без ожидания остановок и ремонтных работ. Выполнена визуализация работы системы в Scada-системе с имитацией работы технолога в ручном режиме.*

**Ключевые слова:** автоматическое регулирование, котельный агрегат, температура пара, пароперегреватель, пароохладитель, регулирующий клапан, впрыск «собственного» конденсата, энтальпия пара, математическая модель.

**L.O. Dobrovolskaya, S.E. Litvinenko. Modeling and modernization of the boiler unit temperature control system.** The article considers controlling the temperature of superheated steam in boiler units. When regulating the temperature of steam in modern boilers, special requirements are imposed on the accuracy of maintaining the temperature at a given level. The temperature must be maintained close to the value set in the design of the unit, regardless of the operating conditions of the boiler and its load. With a decrease in temperature, not only the effectivity of the entire installation decreases, but there is also an increase in the probability of emergency situations. An increase in temperature leads to deformation and premature wear of the metal of the boiler, resulting in the boiler emergency stop. The necessity of controlling the temperature of superheated steam in boilers is also relevant owing to the aging of the equipment. These facts make us conclude that the problem of maintaining temperature is one of the most important tasks in the boiler controlling. A review of scientific and information sources on this subject has been presented. As it follows from the above analysis, at present the controlling the temperature of superheated steam has not been fully studied. A mathematical model of the superheated steam temperature control system is presented, it taking into account the non-linearities of the subjects of research. It has been established that the control system responds adequately to disturbances and restores the set temperature of superheated steam, changing the necessary parameters of the system. It is proposed to modernize the temperature control system of the boiler unit by installing a new VariCool desuperheater and vibration control system, which will proactively identify possible malfunctions and partially diagnose the condition of the equipment in real time under operating conditions,

*without waiting for stops and repairs. A visualization of the system work in Scada- system simulating manual work of a technologist has been fulfilled.*

**Keywords:** *automatic control, boiler unit, steam temperature, superheater, supercooler, control valve, «own» condensate injection, steam enthalpy, mathematical model.*

**Постановка проблеми.** Проблема ефективного регулювання температури пари на виході з пароперегрівача є досить актуальною, оскільки температура перегріву пари відноситься до найважливіших параметрів, що визначає економічність роботи парової турбіни і енергетичного котла. При регулюванні температури пари на сучасних котлах висуваються особливі вимоги до точності підтримки температури на заданому рівні, температура повинна підтримуватися близькою до своєї величини, заданої при проектуванні котлоагрегату, незалежно від характеру режиму роботи і навантаження котельного агрегату.

Метал труб котельного агрегату знаходиться в особливо важких умовах роботи. Підвищення температури вище допустимих значень може призвести до аварії внаслідок появи повзучості металу, підвищених теплових розширень і ряду інших причин. З умов міцності металу труб пароперегрівача, паропроводу і турбіни важливо не тільки забезпечити підтримання температури в заданих межах, а й не допустити різких її змін. Значне підвищення температури пари перед турбогенератором призводить до неприпустимого підвищення вологості в останніх щаблях турбіни і ерозії лопаток, наслідком чого виявляється збільшення питомої витрати пари, а іноді і аварійних зупинок турбогенератора. Завдання управління температурою перегрітої пари в котлоагрегатах особливо актуальне і у зв'язку зі старінням обладнання [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню методів управління температурою перегрітої пари котельного агрегату присвячено багато публікацій вітчизняних і зарубіжних авторів. Це Плетньов П.Г., Сідельській Л.Н., Писарев А.В., Поліщук А.В., Журавльов О.О., Жирнов М.Є., Фоменко Б.Ф., Степанець А.Б., Лузін П.А., Шульгін С.К., Давидов М.І., Шевякін А.А., Ключев А.С., Єфімов М.М., Пікіна Г.А., Холщев В.В., Sang Hyuk Lee, Jaesop Kong, Jin H.Seo, Sima W та ін.

Так, в статті П.А. Лузіна приділено увагу регулюванню температури перегрітої пари котельного агрегату. Наводиться опис регулювання температури перегрітої пари шляхом уприскування «власного» конденсату котельного агрегату. Представлено математичну модель температури перегрітої пари. Встановлено, що система управління адекватно реагує на обурення і відновлює задану температуру перегрітої пари, змінюючи при цьому необхідні параметри системи. Метою досліджень С.К. Шульгіна є розробка системи управління, що забезпечує підвищення точності регулювання витратою газу і необхідних показників температури перегрітої пари в умовах функціонування котельного агрегату шляхом розробки системи автоматичного регулювання витрати газу в топці котельного агрегату.

Ключовою проблемою при вирішенні задач управління динамічними об'єктами є реалізація моделі інверсної динаміки об'єкта управління. Використання нейронної мережі дозволяє знаходити наближене рішення даної задачі шляхом навчання мережі на прикладах управління реальним об'єктом.

У статті Давидова М.І. проведено порівняльний аналіз двох варіантів схем регулювання температури пари: типової схеми з випереджаючим швидкісним сигналом за уприскуванням і схеми з використанням додаткового випереджаючого швидкісного сигналу до температури пари в проміжному перетині пароперегрівача.

Як впливає з наведеного вище аналізу, в даний час завдання управління температурою перегрітої пари вивчене не повністю. Існуючі рішення в даній області не можуть бути безпосередньо використані для котельного агрегату, оскільки не враховують повною мірою управління багатоступінчастою системою охолодження перегрітої пари.

**Мета статті** – на основі існуючих теоретичних і практичних матеріалів модернізувати систему управління перегрітої пари на виході котельного агрегату, що має багатоступеневу систему охолодження пари.

**Виклад основного матеріалу.** При регулюванні температури пари на сучасних котлах висуваються особливі вимоги до точності підтримки температури на заданому рівні. Відхилення температури пари від значення, встановленого при проектуванні, для котлів із середніми характеристиками становлять приблизно від +10 до -15°C. До основних причин підвищення тем-

ператури перегрітої пари можна віднести наступні: недолік повітря для горіння (факел затягує до пароперегрівача); великий надлишок вторинного повітря; велике розрідження в топці. Методи усунення цих явищ: необхідно кількість повітря для горіння і кількість вторинного повітря довести до норми; забезпечити нормальне розрідження в топці. Основні причини зниження температури перегрітої пари: низьке розташування факела в топці; розрив трубок конденсатора і потрапляння води в паровий тракт; закид води з барабана в пароперегрівач; відмова регулятора температури. Методи усунення: збільшення до норми розрідження в топці, шляхом запалювання верхніх пальників; зниження навантаження котла; зниження рівня води в барабані котла до нормального шляхом продувки пароперегрівача; регулювання ступеня відкриття регулюючого клапана уприскування [2].

Головним збурюючим впливом на температуру пари є зміна навантажень котлоагрегату, супроводжуваної зміною кількості споживаного палива, що проходить в топку котлоагрегату. При зниженні навантаження питоме теплосприйняття радіаційних поверхонь нагріву зростає, а конвективних падає. Відповідним підбором ступеня радіаційного перегрівача, теоретично можна домогтися незмінності перегріву пари в усьому діапазоні допустимих навантажень. Але на практиці цього домогтися практично неможливо. Це пов'язано з неминучою забрудненістю екранних і конвективних поверхонь нагріву, зміною вологості, зміною температури живильної води і т. п. Застосовуються три види впливу на температуру перегрітої пари: змішування, поверхневе охолодження і вплив на теплове сприйняття.

При змішуванні в перегріту пару впорскується пар з меншим вмістом тепла. Поверхні пароперегрівача, що нагріваються, вибираються таким чином, щоб при високих впливах, що обурюють, спрямованих в бік зменшення температури перегріву пари, що виходить, температура пароперегрівача дорівнювала б необхідному значенню. Тоді при низьких впливах, що обурюють, або ж при збурюючих впливах, спрямованих на збільшення температури перегрітої пари, температура пари, що виходить з пароперегрівача, буде збільшуватися. Щоб відновити необхідне значення температури, система повинна виробляти впорскування охолоджуючої води в тракт перегрітої пари. При наявності уприскування змінюється кількість пари, що виходить з пароперегрівача. Рівняння матеріального балансу речовини має вигляд:

$$D_{eux} = D_{ex} + W_e, \quad (1)$$

де  $D_{ex}$  – кількість пари з температурою  $Q_{ex}$ , що входить в пароперегрівач перед уприскуванням;  $W_e$  – кількість води, що впорскується з температурою  $Q_{wb}$ ;  $D_{eux}$  – кількість пари, що виходить з пароперегрівача з температурою  $Q_{eux}$ .

При застосуванні способу поверхневого охолодження поверхні пароперегрівача розраховуються таким чином, щоб при самих максимальних збурюючих впливах на об'єкт в сторону зменшення температури перегрітої пари при охолодному потоці  $Vl = 0$ , температура перегрітої пари дорівнювала б необхідному значенню. Змішування перегрітої пари з охолоджуючим середовищем не відбувається, рівняння матеріального балансу має вигляд:

$$D_{eux} = D_{ex}. \quad (2)$$

Використовуючи систему регулювання температури перегрітої пари способом впливу на теплове сприйняття поверхонь пароперегрівачів, яке здійснюється регулюванням кількості  $Vr$  або температури димових газів  $Qr$ , придатних до поверхонь нагріву пароперегрівачів, в даному випадку змінюється кількість тепла, що підводиться до пару для підвищення його температури до потрібного значення.

Пропонується використовувати математичну модель температури перегрітої пари [3]. Регулювання уприскуванням конденсату засноване на зниженні ентальпії пари шляхом відбору частини тепла перегрітої пари. Цей процес зображений на графіку (рис. 1).

З барабана у пароперегрівач надходить насичений пар з початковою температурою  $T_0$  і ентальпією  $E_0$ . В процесі просування пари на перегрівач I-го ступеня (характеристика 1) відбувається перегрів пару до температури  $T_1$  і відповідної їй ентальпії  $E_1$ .

Можливі два варіанти перегріву пари:

1) надходження пари в пароперегрівач II-го ступеня без вприскування конденсату (характеристика 2);

2) відбувається вприскування конденсату, і охолоджуючий пар надходить в пароперегрівач II-го ступеня (характеристика 3).

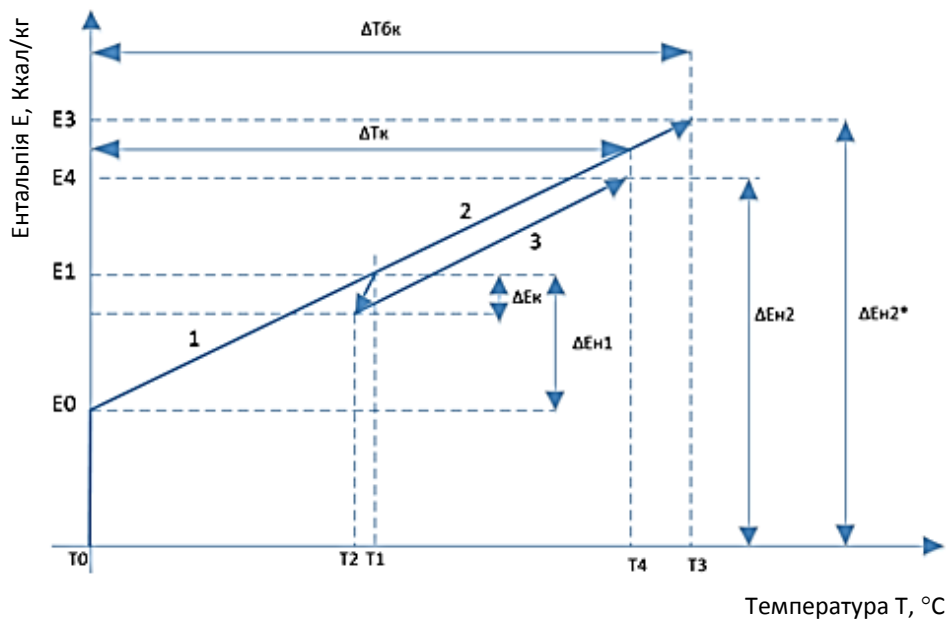


Рис. 1 – Зміна температури перегрітої пари при впорскуванні:  $T_0$  – температура «власного» конденсату на вході в пароперегрівач;  $\Delta T_{бк}$  – температура нагріву пари на виході II-го ступеня пароперегрівача без упорскування конденсату;  $\Delta T_k$  – температура нагрітої пари на виході II-го ступеня пароперегрівача після впорскування конденсату;  $E_0$  – ентальпія пари перед уприскуванням конденсату;  $\Delta E_k$  – ентальпія пари, що відбирається, при уприскуванні конденсату;  $\Delta E_{н1}$  – ентальпія нагрівання пари на I ступені пароперегрівача;  $\Delta E_{н2}$  – ентальпія нагрівання пари на II-му ступені, при впорскуванні конденсату;  $\Delta E_{н2}^*$  – ентальпія нагрівання пари на II-му ступені, без упорскування

Розрахункові витрати конденсату на уприскування пароохолоджувача:

$$G_{розр.} = D_{розр.} \cdot \frac{i_{ex.} - i_{вих.}}{i_{ex.} - i_{впр.}}, \quad (3)$$

де  $D_{розр.}$  – розрахункова витрата пара після пароохолоджувача.

$$D_{розр.} = 0,5 \cdot D,$$

де  $D$  – вимірювана витрата від котла.

**Модернізація системи.** Пропонується здійснити модернізацію системи регулювання температурного режиму котельного агрегату за допомогою установки нового пароохолоджувача VariCool і системи діагностики вібрації, яка дозволить превентивно визначати можливі несправності і частково діагностувати стан обладнання в реальному часі під час роботи агрегату, без очікування зупинок і ремонтних робіт (рис. 2, а).

Пароохолоджувач VariCool має вбудований прецизійний регулюючий клапан, що дозволяє отримати широкий діапазон регулювання, високу швидкодію і точність регулювання. Багатоступінчастий трубчастий поршень дозволяє використовувати пароохолоджувач в широкому діапазоні перепадів тиску, тому що він впорскує розпорошену охолоджуючу рідину прямо в охолоджуваний технологічний пар. Зниження температури відбувається в результаті швидкого випаровування крапель охолоджувальної рідини в технологічному парі.

Перфорований затвор з подачею середовища «на затвор» і форсунки забезпечують високу точність регулювання при змінних режимних параметрах шляхом точного дроселювання в залежності від сигналу зворотного зв'язку від контролера і датчика температури пари після пароохолоджувача.

Переваги VariCool: уприскування через регульовані форсунки забезпечує оптимальний перепад тиску між охолоджуючим середовищем і парою; надтонке розпорошення забезпечує швидке і повне випаровування охолоджуючої води; виключається можливість теплового удару.

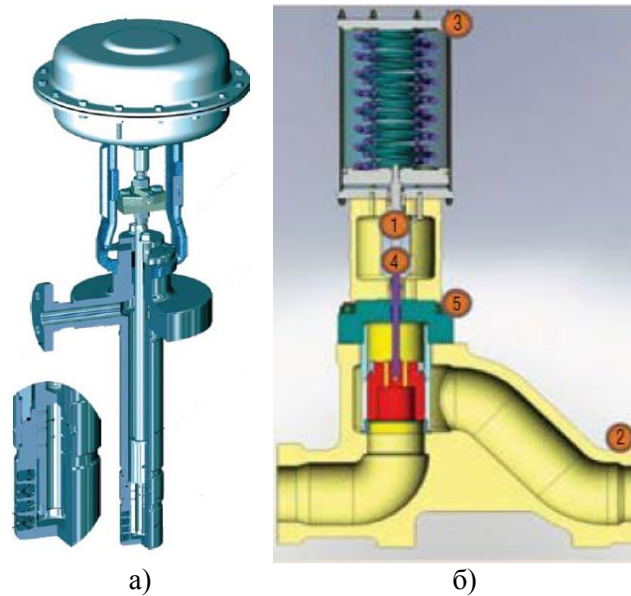


Рис. 2 – Елементи модернізації системи: а – парохолоджувач VariCool; б – місця установки акселерометрів

Також в якості модернізації пропонується застосувати діагностику вібрації регулюючих клапанів [4]. Відомо, що всі діючі трубопроводи вібрують під дією сил, що виникають у зв'язку з рухом середовища. Зазвичай ці коливання настільки незначні, що навіть не відчуються. Однак в деяких випадках вони стають помітними й можуть негативно позначитися при тривалій експлуатації. Якщо ж коливання виявляться занадто сильними, виникне ймовірність відмови обладнання або загроза безпеки персоналу. Щоб попередити подібне явище, необхідно визначити рівень вібрації шляхом її виміру. Зазвичай процес вимірювань вібрації полягає у вимірюванні зсуву, швидкості або прискоренні без урахування частотної характеристики. Це пояснюється тим, що на промисловому підприємстві велика частина проблем з вібрацією пов'язана з високошвидкісним динамічним обладнанням, для якого характерні частоти можна визначити з великою вірогідністю, оскільки відома швидкість обертання. Але для статичного обладнання, наприклад, для регулюючих клапанів, питання з вібрацією набагато складніше. Причина вібрації може бути прихована як в конструкції клапана, так і в параметрах всієї трубопровідної системи. Впливати можуть: довжина трубопроводу, коліна, відводи, розширення і розгалуження трубопроводу, його діаметр, властивості опор, швидкість звуку в середовищі, вага деталей арматури, конструкція вузла затвора, жорсткість приводу та інше. Вібрація виникає тому, що власна частота в системі збігається з частотою силового впливу з боку середовища, що рухається. Тому необхідно знати домінуючі частоти власних коливань. Явища, що відбуваються в робочому середовищі, такі як шум струменя, гідравлічний удар, закипання і кавітація, теж породжують широкий діапазон частот, які можуть збігтися з власними частотами, викликавши руйнівну вібрацію.

Основним показником вимірювання вібрації є швидкість. Значення віброшвидкості – це основний показник, оскільки вона оптимальна на широкому діапазоні частот і є точним індикатором механічної напруги. Також необхідно знати параметри потоку для мінімальної витрати, положення затвора клапана. Необхідні дані про температуру і тиск. Якщо параметри потоку не відомі безпосередньо, їх потрібно визначити побічно, виходячи з положення затвора під час вимірювань і інформації про систему в цілому.

Особливо важливим завданням є правильний вибір точок вимірювань. Кількість точок вимірювань залежить від наявної кількості вимірювальних приладів. Можливі кілька способів вимірювань (рис. 2, б): акселерометр встановлюється на шток клапана для вимірювання переміщення плунжера, будь то поступальний, якщо шток є висувним, або обертальний, якщо така конструкція клапана (точка 1); акселерометр встановлюється на фланець або кінець під приварення вихідного патрубка в напрямку максимального зсуву (точка 2); для вимірювання основ-

ного зміщення акселерометр встановлюється на привід якомога далі від трубопроводу (точка 3); можна встановити другий акселерометр на шток клапана для вимірювання зміщення, перпендикулярного штоку (точка 4). У даних умовах найкращим варіантом буде установка акселерометра на фланець кришки клапана в напрямку максимального зсуву. Акселерометр буде показувати вібрацію трубопроводу, так як корпус клапана жорстко пов'язаний з трубопроводом, і вихідні дані будуть відображати динаміку коливань труби (точка 5).

При вимірюванні вібрації, пов'язаної з регулюючими клапанами, найбільш важливо отримати частотний спектр швидкостей коливань штока клапана. Істотною є також інформація про параметри потоку, при яких вимірюється спектр. Коливання трубопровідної системи, що враховують дроселювання потоку, що проходить через регулюючий клапан і трубопровід, дуже складні. Безліч змінних впливає на збіг власної частоти і частоти коливань навантажень, що виникають через порушення, що породжуються звивистим рухом середовища в системі [4].

Також, реалізована Scada-система, що включає поле візуалізації діагностики вібрації на пароохолоджувачі, а також на трубопроводі поблизу клапана пароохолоджувача (рис. 3). Представлений скріншот розробленої програми (рис. 4), яка імітує роботу технолога в ручному режимі при регулюванні температури пари в пароперегрівачі. Як видно з рис. 4, при запуску температура поступово зростає до сталого значення, технолог може змінювати уставку на регулюючому органі пароохолоджувача. Після пароперегрівача температура має пряmlinійну залежність, а на інших щаблях температура змінюється побічно до певного значення.

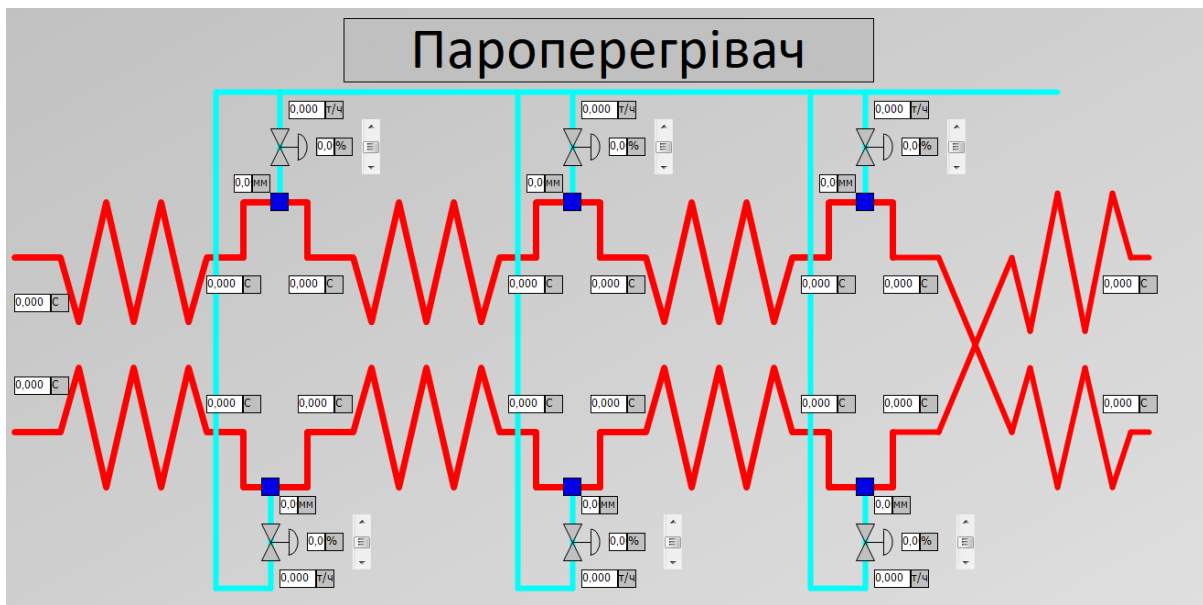


Рис. 3 – Мнемосхема пароперегрівача парового котла

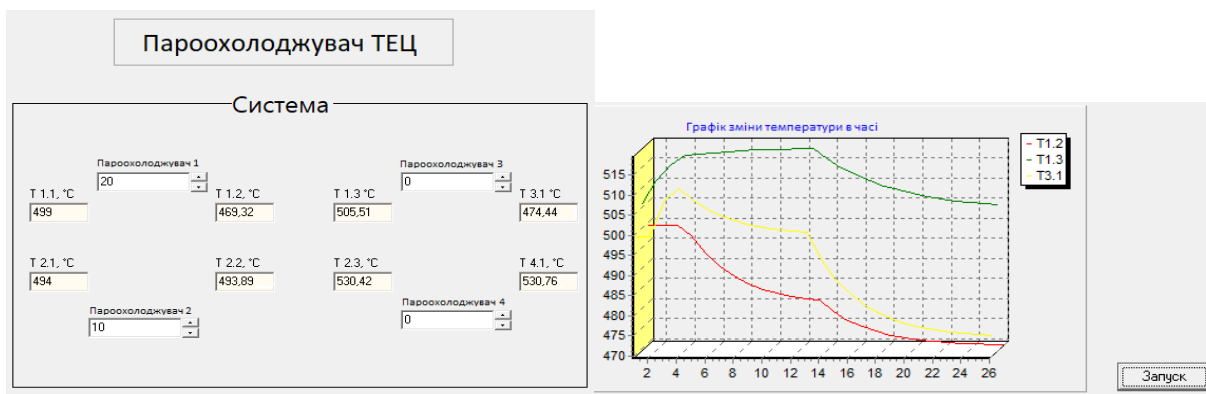


Рис. 4 – Імітація роботи технолога при ручному керуванні

**Висновки**

Проведено огляд науково-інформаційних джерел. Аналіз джерел показав, що дана тема є актуальною. Вивчено технологічний процес отримання перегрітої пари в водопаровому тракті промислового котлоагрегату. Запропоновано модернізацію існуючої системи шляхом заміни існуючого паро-охолоджувача на більш досконалий. Запропоновано застосування системи контролю вібрації регулюючих клапанів, яка дозволяє превентивно визначати можливі несправності і частково діагностувати стан обладнання в реальному часі під час роботи агрегату, без очікування зупинок і ремонтних робіт.

**Список використаних джерел:**

1. Коньков Д.И. Система эффективного автоматического регулирования температуры пара на выходе из котла / Д.И. Коньков, С.В. Захаркина, О.М. Власенко // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – Пермь, 2017. – Вып. 23. – С. 159-166. – (Серия : Электротехника, информационные технологии, системы управления).
2. Сидельковский Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий : учебник для ВУЗов / Л.Н. Сидельковский, В.Н. Юренев. – 3-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.
3. Лузин П.А. Регулирование температуры перегретого пара котельного агрегата / П.А. Лузин, М.П. Дунаев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – Иркутск, 2016. – Вып. 5 (112). – С. 120-128.
4. Herbert L. Miller. Vibration measurement of control valves / Herbert L. Miller, Sekhar Samy // Valve Word. – Торонто, 2015. – Вып. 10. – С. 62-66.

**References:**

1. Konkov D.I., Zakharkin S.V., Vlasenko O.M. Sistema effektivnogo avtomaticheskogo regulirovaniia temperatury para na vykhode iz kotla [The system of effective automatic control of the steam temperature at the outlet of the boiler]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Seria: Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia – Bulletin of Perm national research polytechnic university. Electrotechnics, informational technologies, control systems*, 2017, iss. 23, pp. 159-166. (Rus.)
2. Sidelkovsky L.N., Yurenev V.N. *Kotel'nye ustanovki promyshlennykh predpriatii: uchebnik dlia VUZov* [Boiler installations of industrial enterprises: a textbook for universities]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988. 528 p. (Rus.)
3. Luzin P.A., Dunayev M.P. Regulirovanie temperatury peregretogo para kotel'nogo agregata [Temperature regulation of superheated steam of a boiler unit]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Proceedings of Irkutsk State Technical University*, Irkutsk, 2016, iss. 5 (112), pp. 120-128. (Rus.)
4. Herbert L. Miller, Sekhar Samy. Vibration measurement of control valves. *Valve Word*, Toronto, 2015, iss. 10, pp. 62-66.

Рецензент: В.П. Кравченко  
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 19.02.2019