

УДК 669.162.22

Черевко О. О., Климов Б. А.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ КОНДЕНСАТУ В БАРАБАНІ-СЕПАРАТОРІ КОТЛА-УТИЛІЗАТОРА КОНВЕРТЕРНИХ ГАЗІВ З КОРЕКЦІЄЮ ПО ТИСКУ ПАРИ

Важливою частиною технологічної лінії конвертерного виробництва сталі є котли-утилізатори, призначені для охолодження, утилізації тепла відхідних газів конвертерів і вироблення насиченої пари для технологічних потреб.

Системи автоматичного регулювання, контролю, сигналізації та блокувань котлів повинні забезпечувати їх надійну роботу в проектному режимі, запобігання аварійних ситуацій, забезпечувати задані екологічні показники роботи конвертера.

У роботі виконано аналіз існуючої системи контролю та регулювання рівня води у барабані-сепараторі котла-утилізатора конвертерних газів. Виявлено, що при існуючому методі вимірювання показання рівнеміра залежать від різниці щільності води і пари, яка значно змінюється зі зміною тиску пари в барабані. Тиск в барабані на практиці помітно відрізняється від номінального значення і змінюється у досить широкому діапазоні. В результаті вихідний метод не може забезпечити достатню точність вимірювання рівня при відхиленні тиску від номінального значення.

Запропоновано метод вимірювання рівня конденсату в барабані-сепараторі з корекцією вимірювання по різниці щільності води і пари та по тиску пари в барабані. Застосування корекції дозволило знизити похибку вимірювання рівня у 2,5 рази в порівнянні з вихідним методом.

Підвищення точності вимірювань дозволяє більш ефективно вести процес управління котлом-утилізатором, знизити споживання живильної води в процесі конвертерної плавки, знизити можливість виникнення нештатних та аварійних ситуацій.

Описана в роботі методика корекції вимірювання рівня води придатна для більшості посудин, що працюють під тиском, в яких вода та її пар знаходяться у стані насичення – акумуляторів парових котлів, випаровувачів, деаераторів та ін.

Ключові слова: конвертерні гази, котел-утилізатор, автоматизована система регулювання, барабан-сепаратор, живлюча вода, вимірювання, поправка, рівень, тиск, щільність.

Постановка проблеми. Важливою складовою процесу конвертерної плавки є утилізація газів, що відходять від конвертера. Для цього використовують котли-утилізатори різних типів і конструкцій [1].

Прямим чином установка котла-утилізатора не впливає на показники роботи конвертера. Однак позитивний вплив визначається, по-перше, збільшенням коефіцієнта використання тепла конвертерної установки в цілому до 40 %; по-друге, застосування потужних димососів для створення штучної тяги при встановленні котлів-утилізаторів дозволяє форсувати теплову роботу конвертера за рахунок кращої організації руху газів в котлі та більш гнучкого регулювання аеродинаміки робочого простору котла [2]. У кінцевому рахунку це призводить до збільшення продуктивності конвертера та зниження питомих

витрат палива.

У киснево-конвертерному цеху ПРАТ «ММК ім. Ілліча», для утилізації тепла конвертерних газів використовуються три котла-охолоджувача ОКГ-100. Котел-охолоджувач і його допоміжне обладнання знаходяться у тісному зв'язку з технологічним обладнанням цеху, а його режим роботи повністю залежить від технологічного режиму виробництва сталі в конвертерах.

Основною особливістю роботи котла є циклічність надходження конвертерних газів і, як наслідок, різка зміна теплового навантаження. Теплосприйняття охолоджувача в процесі плавки змінюється від нуля у період між продувками до максимуму в момент продувки, що викликає значні коливання тиску, різке набухання рівня води в барабані котла на початку і його падіння в кінці продувки [3].

Як показує досвід пусконаладжувальних робіт, навіть досвідчені оператори ОКГ під час продування конвертера з витратами кисню $400 \text{ м}^3 / \text{хв}$ і більше в ручному режимі управління витратами живлючої води не можуть підтримувати заданий рівень води в барабані. Оператор фізично не може стежити за мінливими при продувці параметрами роботи котла і запобігти аварії. Для таких умов високої інтенсивності продувки конвертера киснем необхідний тільки автоматичний режим управління із забезпеченням достатньої точності вимірювань технологічних параметрів котла.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проаналізовано існуючу систему контролю рівня води у барабані-сепараторі. Рівень вимірюється гідростатичним методом за допомогою датчика перепаду тиску, підключеного до барабана-сепаратора через стандартну двокамерну зрівняльну посудину [4]. Схема вимірювання рівня показана на рисунку 1.

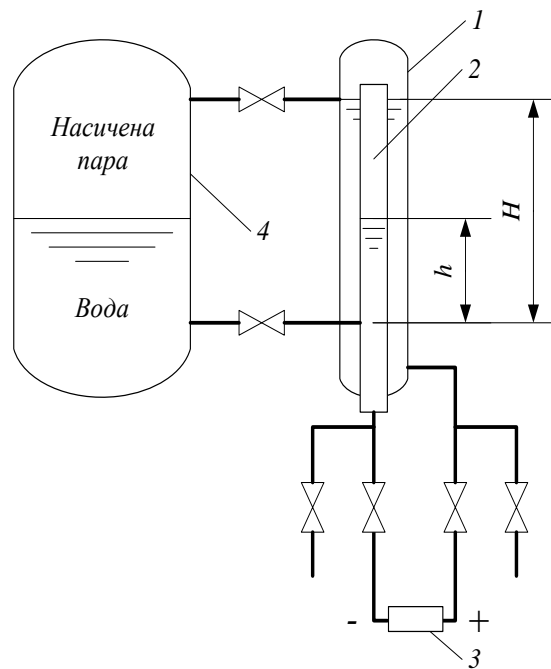


Рисунок 1 – Схема вимірювання рівня води у барабані-сепараторі

У зовнішній порожнині посудини 1, з'єднаній з паровим простором барабана 4 і плюсовою камерою датчика 3, рівень води підтримується постійним. У внутрішній порожнині 2, яка з'єднана з мінусовою камерою датчика, рівень води змінюється разом із рівнем у барабані.

Різниця тисків, створювана посудиною і вимірювана датчиком, визначається наступним чином:

$$\Delta P = (H - h) \cdot (\rho' - \rho'') \cdot g, \text{ Па}, \quad (1)$$

де H – відстань між точками відбору посудини, m ; h – рівень води у барабані, який вимірюється відносно нижньої точки відбору, m ; ρ' і ρ'' – щільності води і пари в стані насичення при поточному тиску P в барабані, kg/m^3 ; g – прискорення вільного падіння, $9,81 m/s^2$.

З рівняння (1) випливає, що при верхньому рівні води в барабані $h = H$, тиск пари $\Delta P_g = 0$, а при нижньому рівні води $h = 0$ тиск пари дорівнює

$$\Delta P_n = H \cdot (\rho' - \rho'') \cdot g. \quad (2)$$

Спочатку різниця щільності $\rho' - \rho''$ вважається рівною $821 kg/m^3$, що відповідає номінальному надлишковому тиску в барабані, рівному $25 kg/cm^2$. Тому діапазон вихідного сигналу комплексу налаштований не на номінальний перепад датчика $10 kPa$, а на перепад $\Delta P_n = 8050 Pa$, який вираховується за формулою (2) при $H = 1 m$. Цей сигнал надходить на вхід мікроконтролера, де пропорційно перераховується у значення рівня, виражене в міліметрах.

Таким чином, в існуючій системі вимірювання не враховуються такі суттєві технологічні особливості:

- показання рівнеміра залежать від різниці щільності води і пари $\rho' - \rho''$, яка значно варіюється зі зміною тиску пари в барабані;

- на практиці тиск у барабані помітно відрізняється від номінального значення і змінюється у досить широкому діапазоні.

У результаті існуючий метод не може забезпечити достатню точність вимірювання рівня при відхиленні тиску від номінального значення.

Зміни показань рівнеміра при зміні надлишкового тиску пари в барабані від $25 kg/cm^2$ до $2 kg/cm^2$ показані на рисунку 2. Основна допустима похибка рівнеміра дорівнює 1,83 % або 18,3 мм, проте вже при тиску $12 kg/cm^2$ і рівню води 400 мм показання приладу занижені на 35 мм. На практиці показання рівнеміра відрізняються від показань водомірного скла, прийнятих за істинні, в середньому на 70–80 мм.

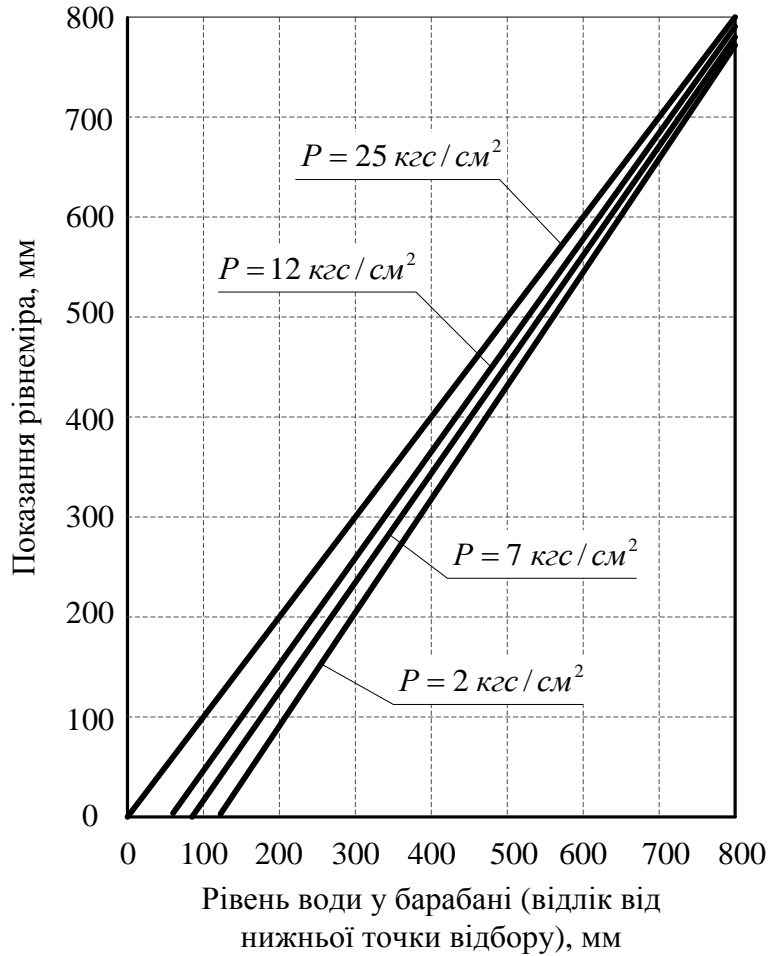


Рисунок 2 – Зміни показань рівнеміра при відхиленні тиску пари в барабані від номінального

Метою даної роботи є удосконалення системи автоматичного контролю та регулювання рівня конденсату в барабані-сепараторі котла-утилізатора конвертерних газів.

Виклад основного матеріалу. Основним недоліком існуючого методу вимірювання рівня є те, що невідома різниця щільності води і пари $\Delta\rho = \rho' - \rho''$. Однак, якщо контролюється температура або тиск у посудині, цю різницю щільності можна визначити. У стані насичення (до критичної точки) кожному значенню температури відповідає єдине значення тиску пара, тому ρ' і ρ'' можна вважати функціями температури або тиску.

Збір вимірювальної інформації про значення технологічних параметрів барабанної установки виконується програмованим мікроконтролером. За вимірюваними даними отримана таблична залежність різниці $\Delta\rho$ ($\text{кг}/\text{м}^3$) від надлишкового тиску в стані насичення, яка потім була апроксимована аналітичним виразом вигляду:

$$\Delta\rho(P) = A \cdot e^{B \cdot P} + C \cdot P + D, \quad (3)$$

де P – надлишковий тиск в барабані, $кгс/см^2$; $A = 46,0917 кг/м^3$, $B = -0,2404$, $C = -3,5913 \cdot 10^{-4} кг/кгс \cdot м$, $D = 909,4809 кг/м^3$ – налагоджувальні коефіцієнти.

Залежність $\Delta\rho(P)$, а також залежність щільності води ρ' і пари ρ'' від тиску показані на рисунку 3.

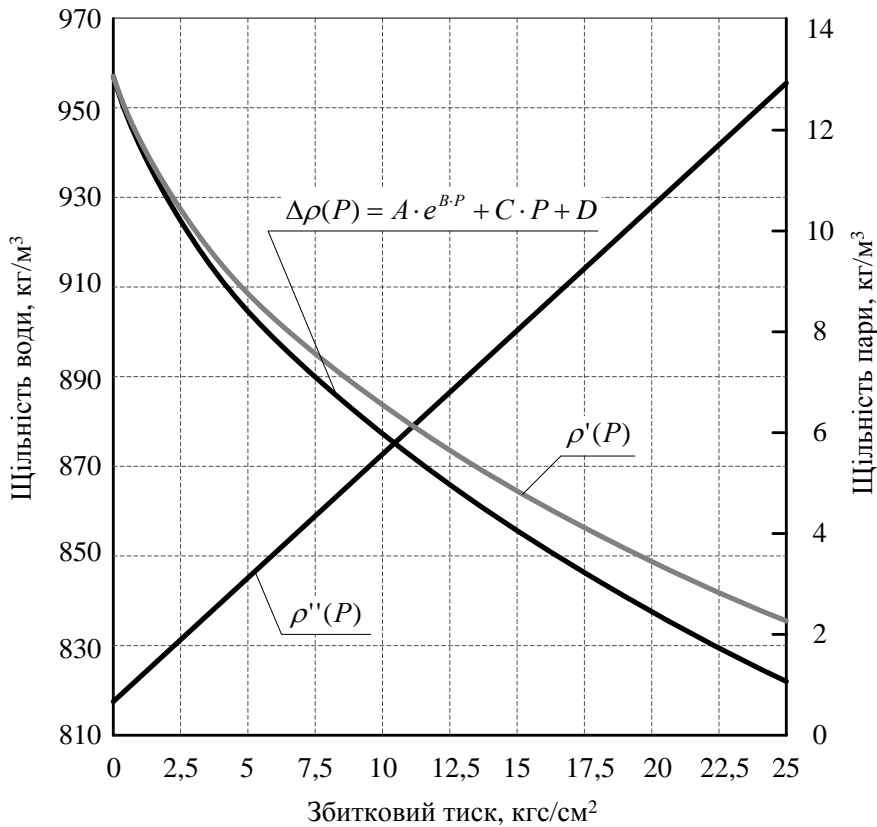


Рисунок 3 – Залежність щільності води і насиченої пари та їх різниці від тиску

Апроксимація проведена в середовищі MathCAD на контрольованому відрізку зміни тиску $0 - 25 кгс/см^2$. Максимальна залишкова похибка апроксимації склала $2,049 кг/м^3$ (1,5%), середня по всьому відрізку похибка дорівнює $0,47 кг/м^3$ (0,34%), показник визначеності апроксимації $R^2 = 0,9998$. Тобто аналітична функція (3) з високою точністю відповідає таблиці, але на відміну від табличної залежності зручна тим, що її легко ввести до ЕОМ.

Підставимо вираз (3) у рівняння (1) і вирішимо його відносно h . Отримаємо вираз для рівня, скоригований по тиску пари в барабані:

$$h(\Delta P, P) = H - \frac{1000 \cdot \Delta P}{(A \cdot e^{B \cdot P} + C \cdot p + D) \cdot g} \quad (4)$$

Тепер значення рівня h (мм) (відстань між точками відбору H (мм)) розраховується

як результат непрямого вимірювання за двома величинами, отриманими в результаті прямих вимірювань по перепаду тиску на зрівняльній посудині ΔP (Па) і по надлишковому тиску пари в барабані P (кгс/см²).

Вираз (4) було внесено до програми розрахунку керуючого впливу мікроконтролера. При цьому діапазон вихідного сигналу вимірювального комплексу перебудований на його номінальний перепад 10 кПа.

Оскільки рівнемір з корекцією по тиску пари включає в себе канал вимірювання надлишкового тиску і канал вимірювання перепаду на зрівняльній посудині, його похибку можна оцінити як похибку непрямих вимірювань.

Допустимі відносні та абсолютні похибки прямих вимірювань складають: для каналу вимірювання перепаду тиску – $\gamma_{\Delta P} = 1,83\%$ та $\delta_{\Delta P} = 183$ Па, для каналу надлишкового тиску – $\gamma_P = 0,58\%$ та $\delta_P = 0,144$ кгс/см².

Тоді похибку вимірювання рівня можна визначити наступним чином:

$$\delta_h(\Delta P, P) = \sqrt{\left(\frac{\partial h(\Delta P, P)}{\partial \Delta P} \cdot \delta_{\Delta P}\right)^2 + \left(\frac{\partial h(\Delta P, P)}{\partial P} \cdot \delta_P\right)^2}. \quad (5)$$

Залежність похибки від перепаду тиску при різних значеннях надлишкового тиску пари показана на рисунку 4. Як видно з графіка, похибка мало змінюється зі зміною перепаду, набагато сильніше вона залежить від тиску пари. При максимальних значеннях перепаду і тиску 10 кПа і 25 кгс/см² похибка максимальна і близька до 23 мм, проте вона знаходиться у досить маленькому діапазоні від 19 до 23 мм. В середньому по всій області вимірювання P і ΔP похибка становить 22 мм, а при діапазоні шкали рівнеміра до 1000 мм – 2,2%. Похибка каналу вимірювання перепаду тиску дорівнює 1,83%. Як видно, додавання каналу вимірювання надлишкового тиску пари незначно збільшило похибку рівнеміра в порівнянні з вихідним методом.

На практиці значення рівня води, скориговані за тиском пари в барабані, відрізняються від показань водомірного скла, прийнятих за істинні, не більше ніж на 30 мм. Ця відмінність обумовлена такими причинами:

- через кипіння рівень води у водомірному склі постійно коливається, що ускладнює точне зняття показань, у той же час сигнали від датчиків фільтруються згладжуючими фільтрами;

- залежність різниці щільності води і пари від тиску справедлива для сталого – рівноважного стану насичення, але через постійні зміни тиску в барабані вода і пар знаходяться в стані близькому до рівноважного, адже перехід у насичення відбувається хоча і швидко, але не миттєво;

- внаслідок охолодження щільності води в зрівняльній посудині та в водомірному склі більше щільності води в барабані ρ' , причому відрізняються вони на різну величину, оскільки посудина має теплоізоляцію, а скло не має, тобто насправді показання обох приладів трохи занижені в порівнянні з дійсним рівнем води в барабані.

Застосування корекції по тиску пари дозволило знизити похибку вимірювання рівня у 2,5 рази в порівнянні з вихідним методом. Підвищення точності вимірювань означає

поліпшення якості управління технологічним процесом і безпеку експлуатації барабанної установки.

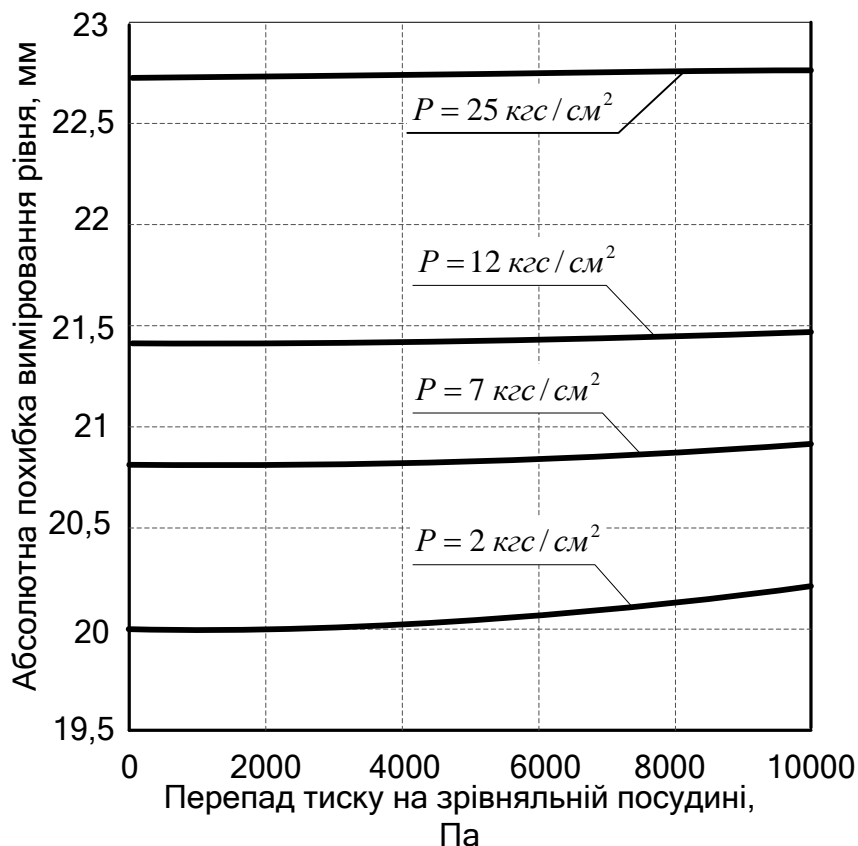


Рисунок 4 – Визначення похибки рівнеміра з корекцією по тиску пари як похибки непрямого вимірювання

Запропонована методика корекції вимірювання рівня води придатна для більшості посудин, що працюють під тиском, в яких вода та її пар знаходяться у стані насичення. Це можуть бути акумулятори парових котлів, випаровувачі, деаератори та ін. При цьому необхідно, щоб окрім рівня води в посудині контролювалися тиск або температура пари, а інформація про значення цих параметрів збиралася і оброблялася мікропроцесорним пристроєм.

ВИСНОВКИ

Запропонований метод контролю рівня конденсату в барабані-сепараторі із введенням поправок по тиску і витраті пари дозволяє підвищити точність вимірювань та покращити якість управління технологічним процесом і безпеку експлуатації барабанної установки.

Перелік використаних джерел:

1. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты: учебник / Л. Н. Сидельковский, А. П. Воинов, В. А. Зайцев, Л. И. Куперман. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.

2. Кудрин, В. А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов / В. А. Кудрин. – М. : Мир, 2003. – 528 с.

3. Гічов, Ю. О. Котли-утилізатори та їх тепловий розрахунок : навч. посібник / Ю. О. Гічов, В. М. Бойко, Д. С. Адаменко. – Дніпропетровськ : НМетАУ, 2004. – 46 с.

Харитонов, Н. В. О применении системы измерения уровня в барабане энергетического котла гидростатическим методом с многопараметрическим преобразователем давления / Н. В. Харитонов, В. Л. Федоров // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 1. – С. 18–23.

Черевко Е. А., Климов Б. А.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ КОНДЕНСАТА В БАРАБАНЕ-СЕПАРАТОРЕ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА КОНВЕРТЕРНЫХ ГАЗОВ С КОРРЕКЦИЕЙ ПО ДАВЛЕНИЮ ПАРА

Важной частью технологической линии конвертерного производства стали являются котлы-утилизаторы, предназначенные для охлаждения, утилизации тепла отходящих газов конвертеров и выработки насыщенного пара для технологических нужд.

Системы автоматического регулирования, контроля, сигнализации и блокировок котлов должны обеспечивать их надежную работу в проектном режиме, предотвращение аварийных ситуаций, обеспечивать заданные экологические показатели работы конвертера.

В работе выполнен анализ существующей системы контроля и регулирования уровня воды в барабане-сепараторе котла-утилизатора конвертерных газов. Обнаружено, что при существующем методе измерения показания уровнемера зависят от разности плотностей воды и пара, которая значительно изменяется при изменении давления пара в барабане. Давление в барабане на практике заметно отличается от номинального значения и меняется в достаточно широком диапазоне. В результате существующий метод не может обеспечить достаточной точности измерения уровня при отклонении давления от номинального значения.

Предложен метод измерения уровня конденсата в барабане-сепараторе с коррекцией измерения по разности плотности воды и пара и по давлению пара в барабане. Применение коррекции позволило снизить погрешность измерения уровня в 2,5 раза по сравнению с исходным методом.

Повышение точности измерений позволяет более эффективно вести процесс управления котлом-утилизатором, снизить потребление питательной воды в процессе конвертерной плавки, снизить возможность возникновения нештатных и аварийных ситуаций.

Описанная в работе методика коррекции измерения уровня воды пригодна для большинства сосудов, работающих под давлением, в которых вода и ее пар находятся в состоянии насыщения – аккумуляторов паровых котлов, испарителей, деаэраторов и др.

Ключевые слова: конвертерные газы, котел-утилизатор, автоматизированная система регулирования, барабан-сепаратор, питающая вода, измерение, поправка, уровень, давление, плотность.

Cherevko O. O., Klimov B. A.

SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL AND REGULATION OF THE CONDENSE LEVEL IN THE DRUM-SEPARATOR OF THE BOILER-UTILIZER OF CONVERTER GASES WITH CORRECTION BY DIRECTION

An important part of the technological line of converter steel production are recovery boilers designed for cooling, heat recovery of the exhaust gases of the converters and the production of saturated steam for technological needs.

Systems of automatic regulation, control, signaling and blocking of coppers have to provide their reliable work in a design mode, prevention of emergency situations, to provide the set ecological indicators of converter process.

The analysis of the existing system of control and regulation of the water level in the drum-separator of the boiler-utilizer of converter gases is performed. It was found that with the existing method of measuring the level meter readings depend on the difference between the densities of water and steam, which changes significantly when the steam pressure in the drum changes. The pressure in the drum in practice differs markedly from the nominal value and varies in a fairly wide range. As a result, the existing method cannot provide sufficient level measurement accuracy when the pressure deviates from the nominal value.

A method for measuring the condensate level in the drum-separator with the correction of the measurement by the difference between the density of water and steam and the steam pressure in the drum is proposed. The application of the correction allowed to reduce the level measurement error by 2.5 times compared to the original method.

Improving the accuracy of measurements allows to more effectively manage the process of the boiler-utilizer, reduce the consumption of feed water in the process of converter melting, reduce the possibility of abnormal and emergency situations.

The method of correction of measurement of water level described in work is suitable for the majority of vessels working under pressure in which water and its steam are in a state of saturation – accumulators of steam coppers, evaporators, deaerators, etc.

Keywords: *converter gases, recovery boiler, automated control system, drum separator, feed water, measurement, correction, level, pressure, density.*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Воротнікова З. Є.

Стаття надійшла