УДК 621.18:658.26

С. І. Клюєв

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАРОВОЇ КОТЕЛЬНІ ТОВ ПРОТЕЇНІНВЕСТ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано шляхи підвищення енергетичної та економічної ефективності парової промислово-опалювальної котельні підприємства харчової промисловості. Визначено раціональний діапазон охолодження живильної води та оцінено економію природного газу.

Ключові слова: парова котельня, охолодник живильної води, економайзер, енергоефективність, математичне моделювання, витрата палива.

Abstract

The ways to improve the energy and economic efficiency of a steam industrial-heating boiler house at a food industry enterprise were analyzed. The rational range of feedwater cooling was determined and natural gas savings were estimated.

Keywords: steam boiler house, feedwater cooler, economizer, energy efficiency, mathematical modeling, fuel consumption.

Вступ. Постановка задачі

В умовах високої вартості енергоносіїв, нестабільності паливного ринку та необхідності зміцнення енергетичної безпеки промислових підприємств України питання зниження питомих витрат природного газу на виробництво теплової енергії набуває першочергового значення [1]. Особливо гостро ця проблема постає перед підприємствами харчової та переробної промисловості, де технологічний цикл, наприклад екстракція, випарювання, сушіння, стерилізація вимагає безперервного постачання водяної пари, а паливна складова формує левову частку собівартості готової продукції [2].

У традиційних теплових схемах парових котелень деаерована живильна вода має температуру близько 102…104 °С і безпосередньо подається живильними насосами у водяний економайзер котла. Висока початкова температура живильної води обмежує температурний напір в економайзері, внаслідок чого температура відхідних димових газів залишається порівняно високою – 130…145 °С, що призводить до підвищених втрат теплоти з відхідними газами [3, 4].

Одним із дієвих схемних рішень для підвищення ККД парових котлоагрегатів є впровадження водоводяного охолодника живильної води (ОЖВ) після деаератора [5]. Це дозволяє одночасно виконати два завдання: утилізувати частину фізичної теплоти деаерованої води для попереднього підігріву хімічно очищеної додаткової води перед деаератором та знизити температуру води на вході в економайзер. Орієнтовно кожні 10 °С переохолодження живильної води забезпечують додаткове охолодження димових газів на 10 °С, що підвищує ККД котла приблизно на 0,6 %. Водночас занадто глибоке охолодження живильної води може спричинити конденсацію водяної пари з димових газів та виникнення низькотемпературної корозії поверхонь нагріву економайзера, що вимагає точного математичного обґрунтування режимів роботи ОЖВ.

Мета роботи – оцінка енергетичної та паливної ефективності встановлення охолодника живильної води та визначення раціональної глибини її охолодження на прикладі парової промислово-опалювальної котельні ТОВ «ПротеїнІнвест».

Результати досліджень

Об’єктом дослідження є парова промислово-опалювальна котельня підприємства харчової промисловості ТОВ «ПротеїнІнвест», обладнана парогенераторами Е-10-14 ГМ та Е-16-14 ГМ, що

працюють на природному газі з нижчою теплотою згоряння $Q_н^р$ = 33,6 МДж/м³ [2]. Котельня виробляє насичену пару тиском 1,4 МПа для технологічних потреб виробництва, редуковану пару тиском 0,4МПа для систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання. Частка повернення зворотного конденсату від технологічних споживачів становить 70 %, а від установок опалення та ГВП – 100 %. Втрати конденсату компенсуються хімічно очищеною додатковою водою з температурою 7 °С.

Для дослідження ефективності енергозберігаючих заходів розроблено детерміновану статичну математичну модель теплової схеми котельні, що містить 63 лінійних та нелінійних балансових рівняння термодинаміки [3, 6]. Ключовим елементом алгоритму є спільне розв'язання матеріального та теплового балансів атмосферного деаератора методом послідовних наближень із врахуванням теплообміну в охолоднику живильної води та охолоднику випару. Тепловий баланс водо-водяного охолодника живильної води у складі моделі описується рівнянням:

$$G_{жв} \cdot (h_{жв} - h_{жв2}) = G_{дв} \cdot (h_{дв2} - h_{дв}),$$

де $G_{жв}$, $G_{дв}$ – масові витрати живильної та додаткової води відповідно, кг/с; $h_{жв}$, $h_{жв2}$ – питома ентальпія живильної води до та після ОЖВ, кДж/кг; $h_{дв}$, $h_{дв2}$ – питома ентальпія додаткової води до та після ОЖВ, кДж/кг.

Потужність охолодника живильної води $Q_{ожв}$, кВт та розрахункова витрата робочого палива $B_р$, м³/с визначаються за залежностями:

$$Q_{ожв} = G_{жв} \cdot (h_{жв} - h_{жв2}), \qquad B_р = Q_{пг} / (Q_н^р \cdot \eta_к),$$

де $Q_{пг}$ – теплова потужність парогенераторів, кВт; $\eta_к$ – ККД котлів із урахуванням зміни температури відхідних газів в економайзері.

За результатами розрахунку базового варіанта: охолодження живильної води після деаератора зі 102 °С до 90 °С, встановлено, що теплова потужність котельні у максимальному зимовому режимі – 15263 кВт (у літньому – 13768,1 кВт), паровидатність – 22,56 т/год і 20,35 т/год відповідно. Річна витрата природного газу по підприємству 4,03 млн м³, витрати на паливо – 361,92 млн грн/рік, річний відпуск теплоти 456,92 тис. ГДж, а собівартість вироблення теплової енергії досягає 933,87 грн/ГДж.

Для визначення оптимального режиму роботи ОЖВ проведено серію чисельних експериментів зі зміни температури живильної води на виході з охолодника в діапазоні від 105 °С (режим роботи котельні без ОЖВ) до 80 °С. Результати моделювання впливу глибини охолодження живильної води на теплову потужність котельні, витрату палива та потужність ОЖВ наведені на рис. 1.

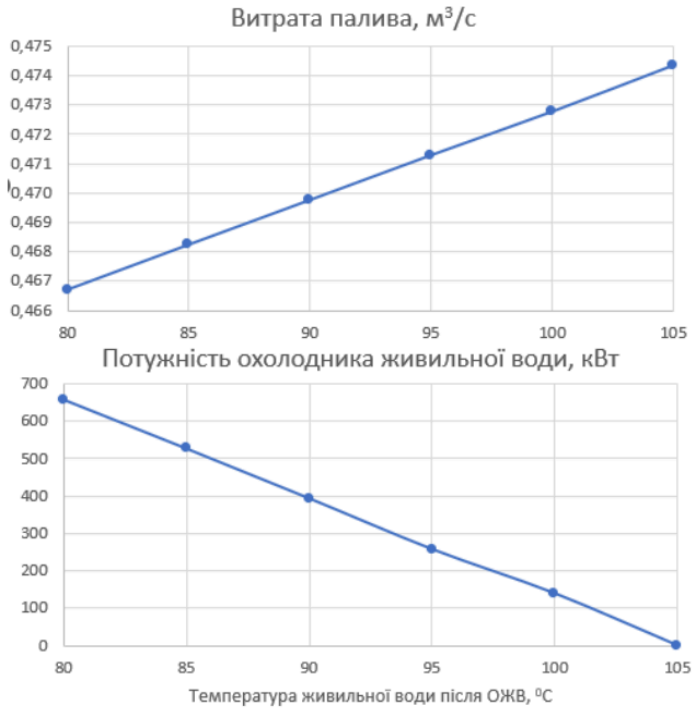


Рисунок 1 – Результати досліджень впливу глибини охолодження живильної води перед котлом на показники котельні

Аналіз отриманих графічних залежностей показує, що при поглибленні охолодження живильної води в досліджуваному діапазоні 105…80 °С теплова потужність самого охолодника живильної води лінійно зростає від 0 до 656 кВт, що дозволяє нагріти додаткову хімічно очищену воду з 7 °С до 55 °С

ще до її подачі в охолодник випару та деаератор. При цьому загальна теплова потужність котельні зменшується лише на 0,07 %, оскільки теплота, відібрана від живильної води, повністю повертається в тепловий цикл котельні разом із підігрітою додатковою водою.

Водночас зниження температури води на вході в економайзер збільшує середній температурний напір між димовими газами та водою, завдяки чому димові гази охолоджуються глибше, а ККД котлоагрегатів зростає. Як наслідок, розрахункова витрата природного газу зменшується на 1,6 % – з 0,474 до 0,467 м³/с. У перерахунку на річний цикл експлуатації котельні така економія дозволяє скоротити споживання природного газу більш ніж на 220 тис. м³/рік, що забезпечує економію коштів понад 5,7 млн грн/рік при діючих тарифах на енергоносії. Подальше зниження температури живильної води нижче 80 °С є технічно недоцільним через ризик виникнення низькотемпературної корозії хвостових поверхонь нагріву економайзера та передчасного виходу його з ладу.

Висновки

1. Впровадження водоводяного охолодника живильної води в теплову схему парової промислово-опалювальної котельні дозволяє ефективно регенерувати теплоту деаерованої води для підігріву хімічно очищеної води та підвищити ККД котлів за рахунок глибшого охолодження димових газів в економайзері.

2. За результатами математичного моделювання теплової схеми котельні ТОВ «ПротеїнІнвест» встановлено, що охолодження живильної води в діапазоні 105…80 °С збільшує теплову потужність ОЖВ до 656 кВт за практично незмінної загальної теплової потужності котельні.

3. Зниження температури живильної води до 80 °С забезпечує економію природного газу на рівні 1,6 %, що суттєво знижує паливну складову собівартості теплової енергії.

4. Раціональною межею охолодження живильної води перед економайзером є температура 80…90°С, яка дозволяє досягти високої паливної ефективності без ризику виникнення низькотемпературної корозії обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабенко О. В., Степанов Д. В., Степанова Н. Д. Моделювання комплексної дії заходів з термомодернізації будівлі з урахуванням інвестиційних обмежень // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Економічні науки». 2023. № 1 (314). С. 85–88.

2. Сайт підприємства «ПротеїнІнвест». URL: https://elevatorist.com/kompanii/355-protein-invest.

3. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання. Вінниця : ВНТУ, 2005. 137 с.

4. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Розрахунки теплових схем ТЕЦ та їх ефективності при модернізації. – Вінниця : ВДТУ, 1997. 61 с.

5. Li Y., Liu Z. Evaluation method of high-pressure feedwater heater operating economic performance based on LS-SVM // Chemical Machinery. 2013. Vol. 40, № 3. P. 280–283.

6. Основи проектування промислових та опалювальних котелень. Курсове проектування / за ред. М. Ф. Боженка. Київ : Вища школа, 1992. 280 с.

Клюєв Сергій Іванович, магістрант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник – Резидент Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rezydent@vntu.edu.ua

Serhii Kliuiev, student of the Department of Heat Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Nataliia Rezydent, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Heat Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rezydent@vntu.edu.ua