

Технічні науки

УДК 538.9:536.6

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України, завідувач відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of Department
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Навродська Раїса Олександрівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Navrodska Raisa

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Шевчук Світлана Іванівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Shevchuk Svitlana

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Пресіч Георгій Олександрович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Presich Georgii

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Scientific Researcher, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Сбродова Галина Олександрівна

*кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Sbrodova Galyna

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ
ГАЗОВІДВІДНИХ ТРАКТІВ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ
ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРАКТОВ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК
COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL METHODS FOR
PROTECTION OF GAS EXHAUST DUCTS OF BOILER PLANTS**

Анотація. Проведено дослідження ефективності застосування трьох теплових методів запобігання конденсації у газовідвідних трактах котельних установок, оснащених системами утилізації теплоти відхідних газів. А саме, методи часткового байпасування відхідних газів повз теплоутилізатор, підмішування до охолоджених газів нагрітого повітря, підсушування цих газів шляхом нагрівання у поверхневих теплообмінниках. Виконано порівняльний аналіз вказаних методів та встановлено діапазони їхнього раціонального застосування.

Ключові слова: котельні установки, теплоутилізація, газовідвідні тракти, теплові методи запобігання конденсації.

Аннотация. Проведены исследования эффективности применения трех тепловых методов предотвращения конденсатообразования в газоотводящих трактах, оснащенных системами утилизации теплоты отходящих газов. А именно, методы частичного байпасирования отходящих газов мимо теплоутилизатора, подмешивания к охлажденным газам нагретого воздуха, подсушивания этих газов путем нагревания в поверхностных теплообменниках. Проведен сравнительный анализ указанных методов и установлены диапазоны их рационального применения.

Ключевые слова: котельные установки, теплоутилизация, газоотводящие тракты, тепловые методы предотвращения конденсатообразования.

Summary. The study of the effectiveness of the use of three thermal methods for preventing condensate formation in gas exhaust ducts equipped with exhaust gas heat recovery systems is carried out. These are methods of partial bypassing of exhaust gases past the heat exchanger, mixing heated air with cooled gases, drying these gases by heating in surface heat exchangers. A comparative analysis of these methods is carried out and the ranges of their rational using is established.

Key words: boiler plants, heat recovery, gas exhaust ducts, thermal methods for preventing condensation.

Вступ. Конденсатоутворення у газовідвідних трактах котлів є стримуючим фактором для широкого впровадження теплоутилізаційних технологій, що характеризуються глибоким охолодженням відхідних газів (нижче температури точки роси водяної пари, яка міститься у димових газах). Утворений конденсат, що має кислу реакцію, спричинює корозійне руйнування внутрішньої поверхні цих трактів та димової труби. Це

руйнування призводить до значного скорочення терміну їхньої експлуатації [1-3].

Відвернення конденсатоутворення передбачає дотримання вимоги, згідно з якою температура поверхні $t_{\text{пов}}$ газовідвідних каналів аж до гирла димової труби не повинна перевищувати точку роси t_p водяної пари. Одним із шляхів запобігання конденсатоутворенню є тепловологісна обробка охолоджених газів, яка забезпечує зниження відносної або абсолютної вологості газів перед надходженням їх до димової труби. Така обробка здійснюється з використанням теплових методів захисту газовідвідних трактів [4; 5]. Це метод байпасування частини χ відхідних газів повз теплообмінне обладнання, повітряний метод, що полягає у підмішуванні до охолоджених газів частки σ нагрітого повітря та їх підсушування шляхом нагрівання на величину Δt у поверхневому теплообміннику (газопідігрівачі).

Результати досліджень. Для визначення ефективності вказаних методів було проведено розрахункові дослідження тепловологісного стану у газовідвідних трактах для опалювальних котлів. Експлуатаційні характеристики котлів змінювалися згідно з тепловим графіком опалювальної котельні. Дослідження виконувались для металевої та цегляної димових труб близьких конструктивних параметрів. Розглядалися такі умови роботи котелень, за яких при температурі навколишнього середовища близькій до 0°C , коли теплове навантаження котлів зазвичай становить 50% від номінального, відбувається переведення відповідного числа котлів у номінальний режим при зменшенні загальної кількості працюючих котлів. На рис. 1-3 наведено типові результати проведених досліджень.

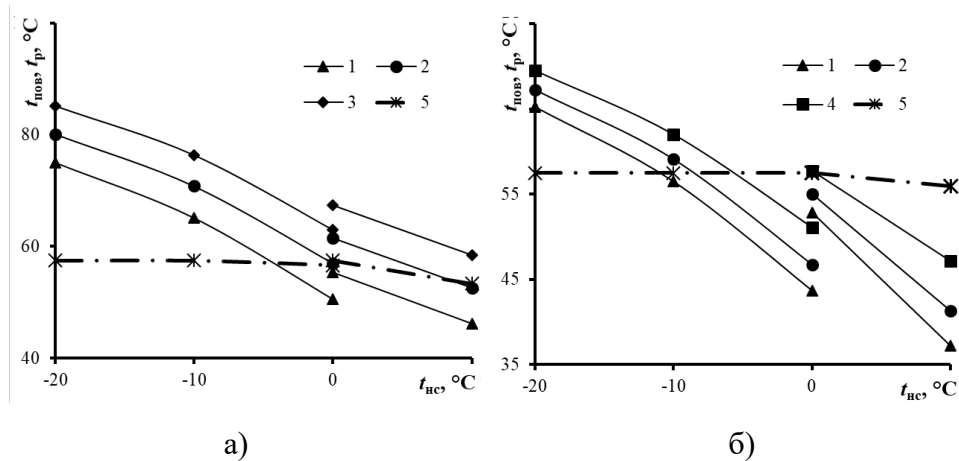


Рис. 1. Залежність температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}$ в гирлі димової труби (1-4) і точки роси t_p (5 від температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}$ при застосуванні методу часткового байпасування димових газів для різних температур відхідних газів у номінальному режимі $t_{\text{гн}}$: 1 – $\chi = 0\%$; 2 – 10% ; 3 – 20% ; 4 – 40% ; 5 – t_p ; а) цегляна димова труба при $t_{\text{гн}} = 160^{\circ\text{C}}$; б) металева димова труба при $t_{\text{гн}} = 200^{\circ\text{C}}$.

Результати проведених досліджень показали, що для цегляної димової труби для запобігання конденсатоутворенню для всіх режимів роботи котла достатньо пропускати повз теплоутилізатор $11,5\%$ димових газів при $t_{\text{гн}} = 160^{\circ\text{C}}$. Щодо металевої димової труби, то метод байпасування дає позитивні результати лише при навантаженнях котла найближчих до номінального та високих рівнях температури відхідних газів за котлом у номінальному режимі ($t_{\text{гн}} > 180^{\circ\text{C}}$).

Як видно з наведених графіків, для забезпечення відсутності конденсатоутворення у димовій трубі опалювальних котелень рівень підігрівання димових газів Δt не перевищує $10^{\circ\text{C}}$ для цегляної труби. Стосовно металевої димової труби це значення значно вище і становить близько $50^{\circ\text{C}}$.

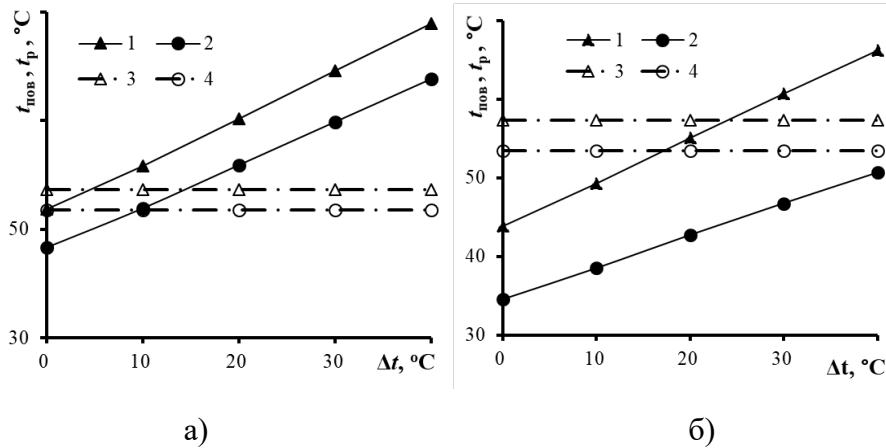


Рис. 2. Залежність температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}$ у гирлі димової труби (1-2) і точки роси t_p (3-4) від величини Δt при температурі навколишнього середовища $t_{\text{нс}} = 10^\circ\text{C}$ для різних значень температури $t_{\text{гн}}$: 1,3 – $t_{\text{гн}} = 200^\circ\text{C}$; 2,4 – 160°C ; а) цегляна димова труба; б) металева димова труба.

При застосуванні повітряного методу відбувається зниження вологості газів, а отже і точки роси, і підвищення їхньої температури за рахунок підмішування сухого нагрітого у повітропідігрівачах котелень повітря ($t_{\text{гн}} = 150 - 250^\circ\text{C}$; $X_{\text{гн}} = 0,01\text{кг/кг с.п.}$)

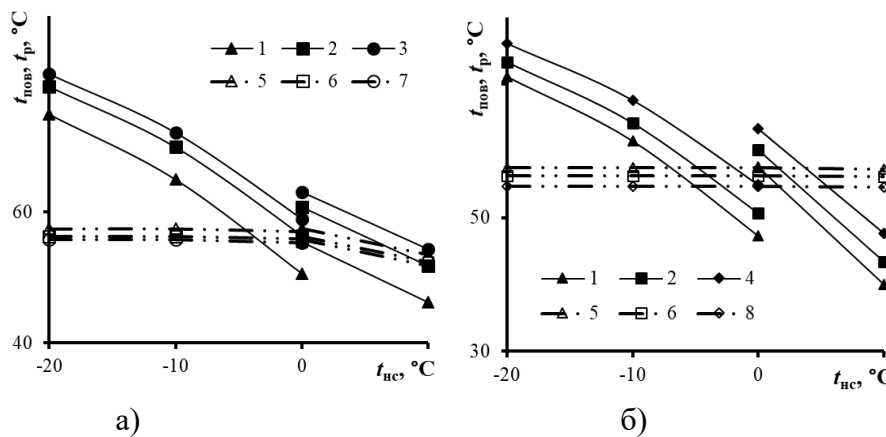


Рис. 3. Залежність температури внутрішньої поверхні $t_{\text{пов}}$ у гирлі димової труби (1-4) і точки роси t_p (5-8) від температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}$ при застосуванні повітряного методу для різних значень частки підмішаного повітря σ та температури $t_{\text{гн}}$ при температурі підмішаного повітря $t_{\text{гн}} = 150^\circ\text{C}$: 1,5 – $\sigma = 0\%$; 2,6 – 8% ; 3,7 – 12% ; 4,8 – 20% ; а) цегляна димова труба при $t_{\text{гн}} = 160^\circ\text{C}$; б) металева димова труба при $t_{\text{гн}} = 200^\circ\text{C}$

Аналіз отриманих результатів свідчить, що при застосуванні повітряного методу для запобігання конденсатоутворенню в газовідвідних трактах цегляної димової труби необхідно підмішувати до 8% нагрітого повітря, а для металевий димової труби максимальна частка гарячого повітря σ становить 25%.

Для оцінювання ефективності застосування вказаних методів використовувалось відношення теплової потужності, необхідної для реалізації методу, до теплопродуктивності теплоутилізаційного обладнання

$$\gamma = Q_{\text{вит}} / Q_{\text{ту}} \cdot 100, \%$$

Порівняльний аналіз зазначених теплових методів запобігання конденсатоутворенню показав, що для опалювальних котелень у разі цегляної димової труби найменшими і близькими за значеннями відносними витратами γ характеризуються методи підсушування димових газів у теплообміннику та часткового байпасування ($\gamma < 6,4\%$). Для металевий димової труби за величиною γ найбільш ефективним є метод підсушування ($\gamma < 31,1\%$), дещо меншій ефективності відповідає повітряний метод ($\gamma < 36,1\%$), а реалізація методу часткового байпасування потребує надто великих витрат теплоти, які перевищують 50% від теплової потужності утилізатора.

Висновки. Проведені дослідження та порівняльний аналіз розглянутих теплових методів захисту газовідвідних трактів котельних установок від конденсатоутворення показали, що їх застосування сприяє покращенню тепловологісного стану та підвищенню терміну експлуатації цих трактів.

Література

1. Fialko N. M., Navrodska R. O., Shevchuk S. I., Stepanova A. I. Improvement of environmental conditions by applying heat recovery technologies of boiler

- plants // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. № 6. P. 148–152. doi: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-6/148>
2. Современные технологии глубокого охлаждения продуктов сгорания топлива в котельных установках, их проблемы и пути решения / под ред. А.В. Ефимова. Харьков: НТУ «ХПИ».2017. 233 с. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/32826>
 3. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Шевчук С.І., Пресіч Г.О. М.А. Аналіз ефективності систем захисту газовідвідних трактів котельних установок при застосуванні теплоутилізаційних технологій // *Промышленная теплотехника*. 2016. № 1. С. 47–53.
 4. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Шевчук С. І., Пресіч Г. О., Гнедаш Г. О. Теплові методи захисту газовідвідних трактів котельних установок під час застосування теплоутилізаційних технологій // *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27(6). С. 125–130.
 5. Тепловые методы защиты газоотводящих трактов котельных установок / Н. М. Фиалко и др. Киев: Про формат, 2018. 248 с.