



**Н. М. Фіалко, Р. О. Навродська, С. І. Шевчук, Г. О. Пресіч, Г. О. Гнедаш**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

## ТЕПЛОВІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ ГАЗОВІДВІДНИХ ТРАКТІВ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Виконано розрахункові дослідження щодо відвернення конденсатоутворення в газовідвідних трактах котельних установок під час використання методів: часткового байпасування відхідних газів котла повз теплоутилізатор, підмішування до димових газів після теплоутилізатора нагрітого повітря, підсушування цих газів шляхом їхнього нагрівання у поверхневих теплообмінниках та методу теплоізоляції димових труб. Наведено принципи схеми котельних установок у разі застосування систем теплоутилізації відхідних газів з використанням вказаних методів захисту газовідвідних трактів. Показано ефективність методу байпасування у широкому практичному діапазоні зміни основних визначальних параметрів. Для повітряного методу виявлено закономірності зміни тепловологісного режиму в газовідвідному каналі котельні залежно від температури нагрітого підмішуваного повітря і його частки в загальній витраті димових газів. Встановлено залежності потрібних для запобігання конденсатоутворенню рівнів підігріву димових газів від режимних параметрів котлів і типу димової труби для методу підсушування відхідних газів. Наведено дані щодо ефективності застосування для металевих та залізобетонних без футерування димових труб комплексу теплових методів, зокрема, підсушування димових газів і зовнішньої теплоізоляції корпусу труби. За результатами порівняльного аналізу ефективності визначених теплових методів відвернення конденсатоутворення визначено межі раціонального застосування кожного з них.

**Ключові слова:** газоспоживальні котли; глибоке охолодження відхідних газів; запобігання конденсатоутворенню; димові труби різного типу.

**Вступ.** Одним із напрямів енергозбереження в комунальній теплоенергетиці є підвищення ефективності використання палива у котлоагрегатах шляхом глибокого охолодження відхідних газів і утилізації їхньої теплоти. Важливою проблемою, що стримує широке впровадження технологій глибокої утилізації теплоти димових газів котельних установок, є випадіння конденсату в газовідвідних трактах, що призводить до значного скорочення терміну їхньої експлуатації (Dolinsky et al., 2014; Fialko et al., 2003).

Утворений на внутрішній поверхні газовідвідного тракту конденсат через наявність у ньому розчинних продуктів згоряння палива має кислу реакцію і його водневий показник рН зазвичай змінюється в межах 4–6. Як наслідок цього внутрішні поверхні конструкцій відвідних газоходів зазнають корозійного руйнування. Найбільш негативного впливу конденсату зазнає внутрішня поверхня ствола димової труби – останнього за ходом газів елемента котельної установки. Отже, під час застосування сучасних технологій виробництва теплової енергії в котельнях виникає проблема захисту їх-

ніх газовідвідних трактів.

До ефективних способів захисту зазначених трактів за глибокого охолодження димових газів, як відомо, належать теплові методи запобігання конденсатоутворення (Fialko et al., 2007, 2015; Shevchuk, 2011). Серед них особливо виділяються методи, пов'язані зі зміною вологості димових газів після теплоутилізації (часткове байпасування відхідних газів котла повз теплоутилізатор, підмішування до димових газів після теплоутилізатора повітря, нагрітого в повітропідігрівачі котла, підсушування цих газів у спеціальних теплообмінниках-газопідігрівачах), а також методи, що відповідають підвищенню температури внутрішньої поверхні відвідних газоходів, наприклад їхня зовнішня теплоізоляція.

Однак застосування зазначених методів є досить обмеженим, більшою мірою через відсутність спеціальних досліджень щодо їхнього раціонального використання й аналізу теплової ефективності.

**Мета дослідження** полягає у теплофізичному обґрунтуванні застосування теплових методів запобігання конденсатоутворенню в газовідвідних трактах

### Інформація про авторів:

**Фіалко Наталія Михайлівна**, д-р техн. наук, професор, член-кореспондент НАН України. **Email:** nmfialko@ukr.net

**Навродська Раїса Олександрівна**, канд. техн. наук, пров. наук. співробітник. **Email:** navrodska-ittf@ukr.net

**Шевчук Світлана Іванівна**, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник. **Email:** s.i.shevchuk@gmail.com

**Пресіч Георгій Олександрович**, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник. **Email:** g.o.presich@gmail.com

**Гнедаш Георгій Олександрович**, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник. **Email:** g.o.hnedacsh@gmail.com

**Цитування за ДСТУ:** 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.

**Citation APA:** Fialko, N. M., Navrodska, R. O., Shevchuk, S. I., Presich, G. O., & Gnedash, G. O. (2017). Heat Methods of the Gas-Escape Channels of Boiler Installations by Heat-Utilization Technologies Application. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(6), 125–130.

<https://doi.org/10.15421/40270625>

опалювальних газоспоживальних котлів, оснащених системами глибокої утилізації теплоти відхідних газів.

**Матеріали та методи дослідження.** Для визначення ефективності зазначених теплових методів здійснено широкі параметричні дослідження за нормативних умов роботи опалювальних котелень для різних типів димових труб: металевих, цегляних, залізобетонних з футруванням та без нього.

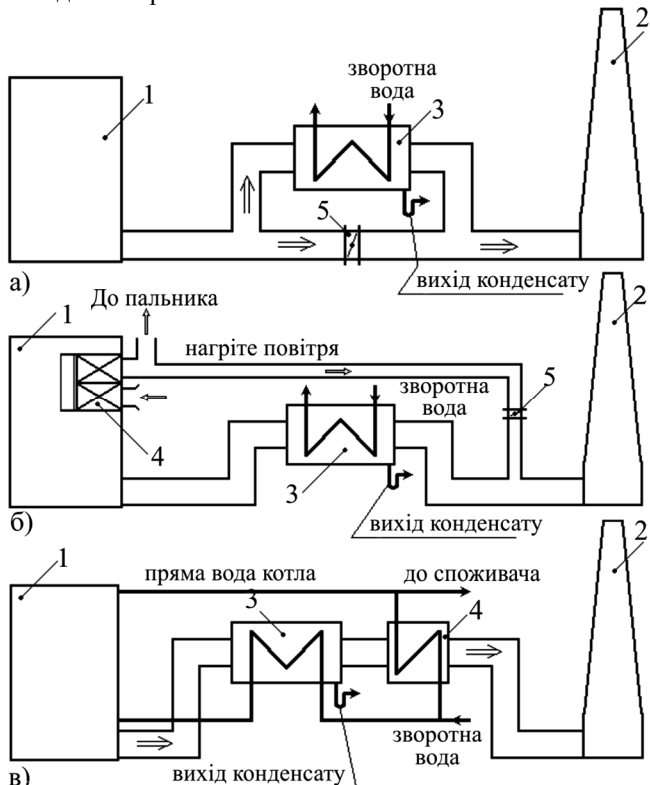
Розрахункові дослідження щодо охолодження відхідних газів водогрійних комунальних котлів у газовідвідних трактах та димовій трубі проводили за відомими методиками (Presich, 2000; Buharkin, 1997; Zhydovich et al., 1977).

Встановлювали закономірності впливу на тепловологісний режим у димовій трубі різних факторів: відносного навантаження котла ( $Q_k/Q_n = 30 \div 100\%$ ), температури відхідних газів у номінальному режимі ( $t_{zn} = 160 \div 200\text{ }^\circ\text{C}$ ), коефіцієнта надлишку повітря ( $\alpha = 1,05 \div 1,6$ ), температури навколишнього середовища в межах опалювального періоду ( $t_{nc} = -10 \div +10\text{ }^\circ\text{C}$ ) тощо. При цьому брали до уваги, що для запобігання конденсації газів у димовій трубі температура внутрішньої поверхні  $t_{нов}$  газівідвідного каналу аж до устя димової труби повинна перевищувати точку роси  $t_p$  димових газів,  $t_{нов} > t_p$ .

Для оцінювання ефективності застосування методів, пов'язаних зі зміною вологості димових газів, і витрат енергії на їхню реалізацію, використовували коефіцієнт  $\gamma$ , що розраховували як відношення теплової потужності  $Q_{внт}$ , необхідної для реалізації відповідного методу, до теплопродуктивності утилізаційного устаткування  $Q_{ym}$

$$\gamma = Q_{внт}/Q_{ym} \cdot 100, \% \quad (1)$$

Під час проведення досліджень розглядали традиційні схеми котельних установок за умов застосування систем теплоутилізації відхідних газів з використанням теплових методів захисту газівідвідних трактив. Схеми наведено на рис. 1.

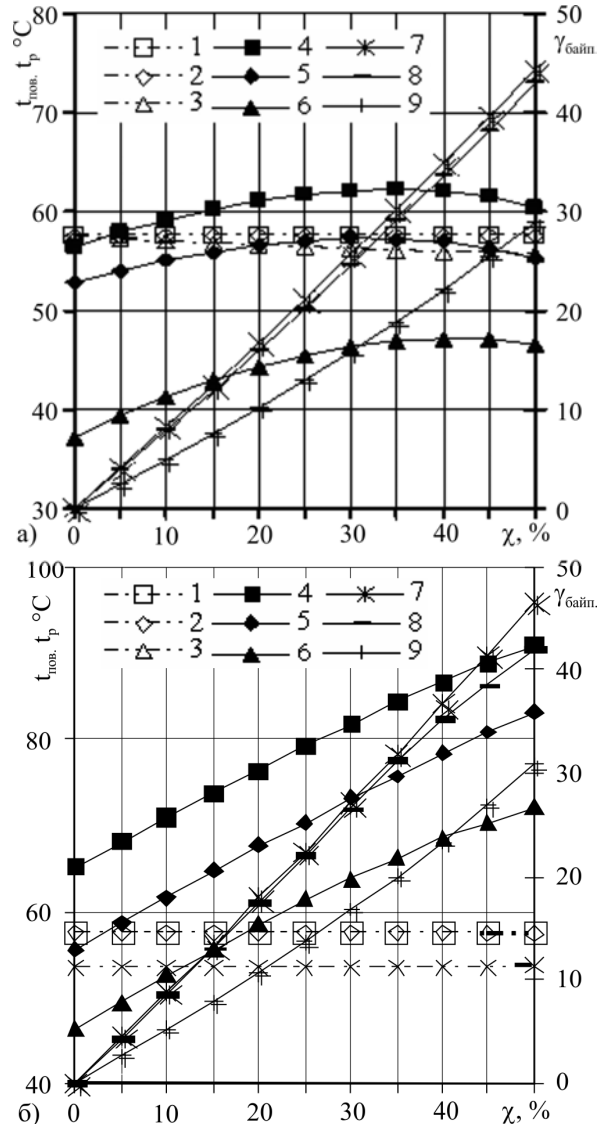


**Рис. 1.** Принципові схеми котельної установки під час застосування теплових методів: а) часткового байпасування відхідних

газів котла повз теплоутилізатор; б) підмішування нагрітого повітря до димових газів після теплоутилізатора; в) підсушування димових газів після теплоутилізатора у газопідігрівачі; 1) котел; 2) димова труба; 3) водогрійний теплоутилізатор; 4) газопідігрівач; 5) регулювальний клапан

**Результати дослідження**

**Теплові методи запобігання конденсації, пов'язані зі зміною вологості димових газів після теплоутилізації.** Розглянемо отримані результати досліджень щодо застосування методу часткового байпасування. Цей метод характеризується підвищенням температури суміші димових газів перед надходженням її до газівідвідного тракту і, як наслідок, температури поверхні в усті димової труби  $t_{нов}$ . При цьому може відбуватися також і збільшення точки роси  $t_p$  газової суміші внаслідок змішування димових газів після котла з вологовмістом  $X_k = 0,15-0,11\text{ кг/(кг сухих газів)}$  і газів після теплоутилізатора, вологовміст яких у певних режимах менший від зазначеної величини ( $X_{my} \leq X_k$ ). Для дотримання умови  $t_{нов} > t_p$  потрібно, як очевидно, переважне зростання температури  $t_{нов}$  над точкою роси  $t_p$ .



**Рис. 2.** Залежність температури внутрішньої поверхні  $t_{нов}$  в усті димової труби (4-6), точки роси  $t_p$  (1-3) а також коефіцієнта витрат теплоти  $\gamma_{байп}$  (7-9) від частки байпасування  $\chi$  для різних значень температури навколишнього середовища  $t_{nc}$ : а) металева за  $t_{zn} = 200\text{ }^\circ\text{C}$ ; б) цегляна димова труба за  $t_{zn} = 160\text{ }^\circ\text{C}$ ; 1, 4, 7 –  $t_{nc} = -10\text{ }^\circ\text{C}$ ; 2, 5, 8 –  $t_{nc} = 0\text{ }^\circ\text{C}$ ; 3, 6, 9 –  $t_{nc} = 10\text{ }^\circ\text{C}$

Як показали результати розрахункових досліджень, для запобігання випадінню конденсату в цегляній димовій трубі (рис. 2) досить пропускати повз теплоутилізатор до 8,5 % димових газів за  $t_{zn} = 200^\circ\text{C}$  і до 11,5 % газів за  $t_{zn} = 160^\circ\text{C}$ , що відповідає значенню коефіцієнта відносних витрат  $\gamma_{байп}$  на реалізацію методу байпасування 4,1 і 6,4 %. При цьому значення  $\gamma_{байп}$  тим більше, чим нижча температура  $t_{zn}$ , менше відносне навантаження котла  $Q_k/Q_n$  і більша величина надлишку повітря.

Щодо металеві димові труби (див. рис. 2), то проведені дослідження свідчать, що байпасування дає позитивні результати тільки за відносно великих навантажень котла ( $Q_k/Q_n > 0,7$ ) і високих температур відхідних газів у номінальному режимі ( $t_{zn} > 180^\circ\text{C}$ ).

На рис. 2, як приклад, наведено результати розрахунків температур поверхні  $t_{нов}$  в усій димовій труби, точки роси  $t_p$  та коефіцієнта витрат теплоти  $\gamma_{байп}$  у різних режимах роботи котла протягом опалювального періоду, які відповідають різним температурам  $t_{nc}$  навколишнього середовища і часткам байпасування  $\chi$  для металеві та цегляної димових труб.

На рис. 3 наведено розрахункові дані для використання методу байпасування щодо температур внутрішньої поверхні  $t_{нов}$  та температури точки роси  $t_p$  для залізобетонної димові труби з футеруванням (б) та без нього (а).

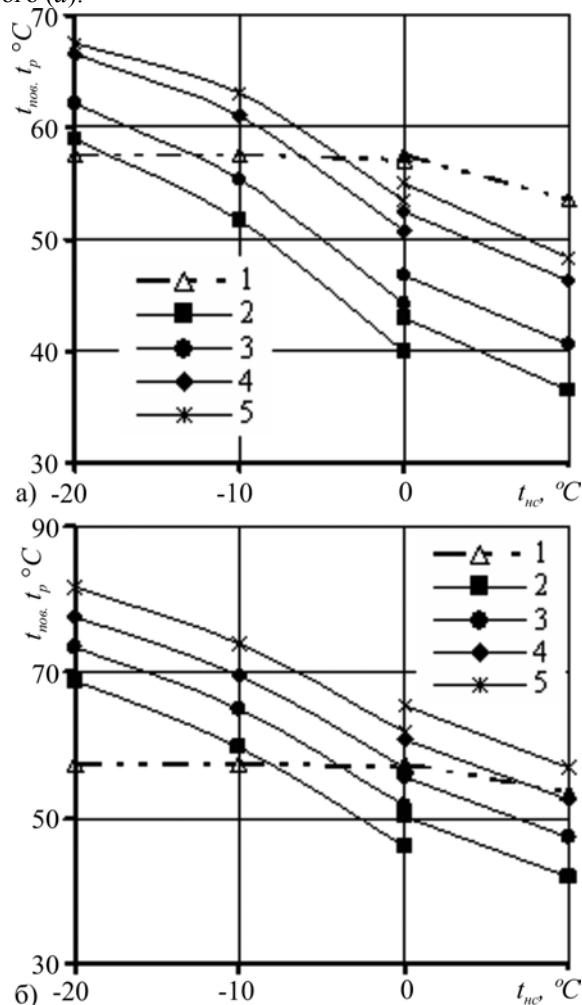


Рис. 3. Залежність температури внутрішньої поверхні  $t_{нов}$  в усій димові труби (2-5) і точки роси  $t_p$  (1) від температури навколишнього середовища  $t_{нс}$  для залізобетонних димових труб та різних часток байпасування  $\chi$ : а) без футерування; б) з футеруванням; 1 –  $t_p$ ; 2 –  $\chi = 0\%$ ; 3 – 10%; 4 – 20%; 5 – 30%

Треба зазначити, що результати досліджень тепловологісних характеристик в усій димових труб різного типу свідчать про близькість за величиною цих характеристик для: а) металеві труби та залізобетонної без футерування; б) цегляної труби та залізобетонної з футеруванням.

Під час дослідження ефективності повітряного методу аналізували тепловологісний режим газівідвідного тракту за різних значень температур підмішаного нагрітого повітря ( $t_{zn} = 150 \div 250^\circ\text{C}$ ) і його частки  $\sigma$  у загальній витраті димових газів. Застосування цього методу, на відміну від методу байпасування, забезпечує не тільки підвищення  $t_{нов}$ , але й зниження точки роси газоповітряної суміші  $t_p$  завдяки порівняно низьким значенням вологовмісту підмішаного повітря ( $X_n = 0,01\text{кг/кг}$  сухого повітря).

Дані, наведені на рис. 4, ілюструють результати розрахунків основних теплових характеристик ( $t_{нов}$ ,  $t_p$ ) за повітряного методу для металевих та цегляних димових труб. Отримані дані свідчать, що за  $t_{zn} = 150^\circ\text{C}$  частка підмішаного повітря не перевищує 20 %, а коефіцієнт відносних витрат  $\gamma_{підм}$  на реалізацію методу досягає для цегляної димові труби 7,3 % і металеві – 36,1 %.

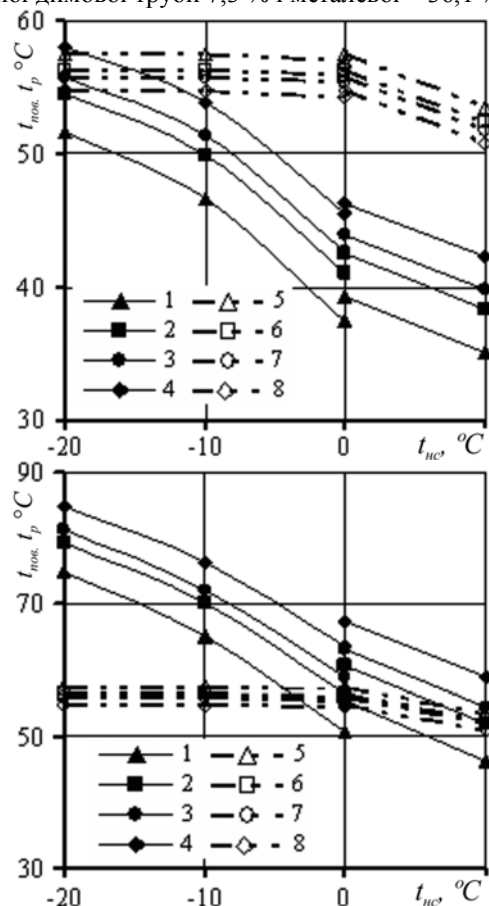
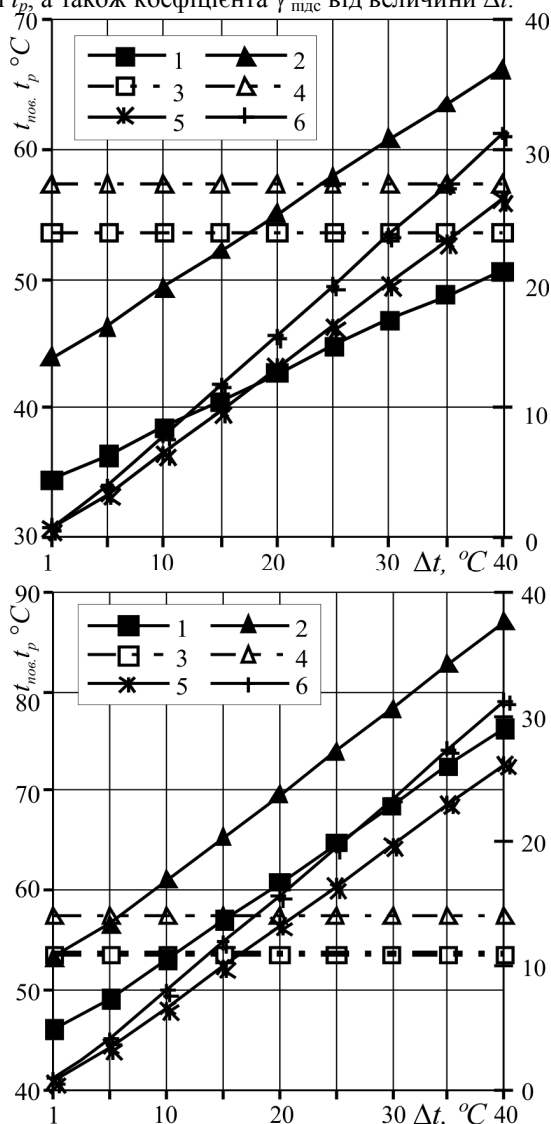


Рис. 4. Залежність температури внутрішньої поверхні  $t_{нов}$  в усій димові труби (1-4) і точки роси  $t_p$  (5-8) від температури навколишнього середовища  $t_{нс}$  за  $t_{zn} = 150^\circ\text{C}$ ,  $t_{zn} = 160^\circ\text{C}$  за різних часток підмішаного повітря  $\sigma$ : 1, 5 –  $\sigma = 0\%$ ; 2, 6 – 8%; 3, 7 – 12%; 4, 8 – 20%; а) металеві; б) цегляні димові труби

Проведено також дослідження ефективності методу підсушування димових газів, під час реалізації якого для запобігання конденсатуутворенню у відповідному газозоді встановлюють додаткові поверхні нагрівання для підвищення температури газів після теплоутилізатора на певну величину  $\Delta t^*$ . При цьому, внаслідок

збільшення температури димових газів підвищується температура  $t_{нов}$  за постійного значення величини  $t_p$ . На рис. 5, для прикладу, наведено залежності температури  $t_{нов}$  і  $t_p$ , а також коефіцієнта  $\gamma_{підс}$  від величини  $\Delta t$ .



**Рис. 5.** Залежність температур внутрішньої поверхні  $t_{нов}$  в усій димовій трубі (1, 2), точки роси  $t_p$  (3, 4) а також коефіцієнта витрат теплоти  $\gamma_{підс}$  (5-6) від величини підсушування  $\Delta t$  за  $t_{ср} = 10^\circ\text{C}$  для різних значень температури  $t_{вх}$ : 1, 3, 5 –  $t_{вх} = 160^\circ\text{C}$ ; 2, 4, 6 –  $200^\circ\text{C}$ ; а) металева; б) цегляна димові труби

Згідно з отриманими даними необхідні для запобігання конденсації значення  $\Delta t^*$  зростають зі зменшенням температури димових газів у номінальному режимі і зниженням навантаження котла. При цьому для металевих димових труб величина  $\Delta t^*$  істотно більша, ніж для відповідних цегляних димових труб, а величина  $\gamma_{підс}$  не перевищує для цегляної димової труби 6,3 % і для металевої димової труби – 31,1 %.

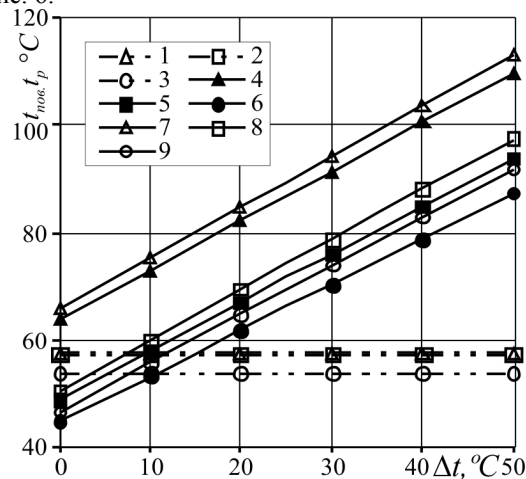
За результатами досліджень ефективності методу підсушування для залізобетонних труб з футерування та без нього з'ясовано, що в трубі без футерування для відвернення конденсації у газівідвідному тракті необхідний максимальний рівень підігрівання димових газів після теплоутилізатора може досягати  $32^\circ\text{C}$ , а для футерованої залізобетонної труби – тільки  $23^\circ\text{C}$ .

Зіставлення трьох теплових методів, пов'язаних зі зміною вологості газів після теплоутилізації, свідчать,

що у разі цегляної та залізобетонної з футеруванням димових труб найменшими і близькими за значеннями відносними витратами теплоти  $\gamma$  характеризуються методи підсушування димових газів і часткового байпасування. Для металевої та залізобетонної без футерування димових труб за величиною  $\gamma$  найефективнішим є метод підсушування, трохи меншій ефективності відповідає повітряний метод, а реалізація методу байпасування потребує занадто великих витрат теплоти, що перевищують у деяких режимах 50 % утилізованої теплоти.

**Комплекс теплових методів.** Для зменшення відносних витрат теплоти на захист металевих та залізобетонних без футерування димових труб доцільним є застосування комплексу теплових методів, а саме: одного з методів, пов'язаних із зміною вологості димових газів, і зовнішньої теплоізоляції корпусу труби (Shoyhet et al., 2001).

Результати досліджень тепловологісного режиму в трубах під час використання комплексу методів підсушування димових газів і теплоізоляції труби наведено на рис. 6.



**Рис. 6.** Залежність температур внутрішньої поверхні  $t_{нов}$  в усій теплоізолюваної металевої димової труби (4-9) і точки роси  $t_p$  (1-3) від величини підігрівання газів  $\Delta t$  за різних температур навколишнього середовища  $t_{ср}$  для різних теплоізоляційних матеріалів: 4-6 –  $\lambda = 0,065 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; 7-9 –  $\lambda = 0,037$ ; 1, 4, 7 –  $t_{ср} = -10^\circ\text{C}$ ; 2, 5, 8 –  $0^\circ\text{C}$ ; 3, 6, 9 –  $10^\circ\text{C}$

Аналіз отриманих результатів свідчить, що для досліджуваних димових труб застосування двох теплових методів може забезпечити нормативний режим роботи труби (без конденсації на внутрішній поверхні) за різних рівнів підігріву димових газів  $\Delta t^*$  залежно від типу застосовуваної теплоізоляції та температур відхідних газів  $t_{вх}$  і навколишнього середовища  $t_{ср}$ . Так, найвищий рівень підігріву  $\Delta t^*_{\text{max}} = 12^\circ\text{C}$  відповідає найтеплішому періоду опалювального сезону ( $t_{ср} \approx 10^\circ\text{C}$ ) і типу ізоляції з найгіршими теплоізоляційними властивостями (плити PAROC Fire Slab 90 AluCoat,  $\lambda = 0,065 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ). У разі застосування теплоізоляційного матеріалу – плит мінераловатних Термолайф Техізол 75,  $\lambda = 0,037 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  – для тих же умов величина  $\Delta t^*_{\text{max}}$  становить  $5^\circ\text{C}$ . За нижчих температур навколишнього середовища ( $t_{ср} < 5^\circ\text{C}$ ) для цього типу теплоізоляції в підігріванні димових газів взагалі немає потреби.

Застосування пропонованих теплових методів відвернення конденсації дасть змогу підвищити ресурс експлуатації газівідвідних трактів не менш ніж на 20 %.

## Висновки

1. Проведено аналіз ефективності застосування теплових методів запобігання конденсації у газівідвідних трактах водогрійних котлів комунальної теплоенергетики під час використання теплоутилізаційних технологій.
2. Отримані дані про ефективність методу байпасування свідчать, що цей метод є результативним для цегляної та залізобетонної з футеруванням димових труб. Для металевих та залізобетонних без футерування димових труб байпасування виявляється ефективним тільки за високих рівнів температури відхідних газів за котлом  $t_{zn}$  у номінальному режимі ( $t_{zn} > 180$  °C) і порівняно великих значень навантаження котла ( $Q_k/Q_n > 0,7$ ).
3. Аналіз ефективності повітряного методу показав істотний вплив на тепловолінійний режим у газівідвідному каналі котельні температури нагрітого підмішуваного повітря і його частки в загальній витраті димових газів, а саме: чим вища температура димових газів  $t_{zn}$ , нагрітого повітря  $t_{пн}$  і нижча температура навколишнього середовища  $t_{nc}$ , тим менші значення  $\sigma$  та  $\gamma_{плдм}$  за інших рівних умов.
4. Щодо методу підсушування димових газів встановлено залежності потрібних для запобігання конденсації рівнів їх підігріву  $\Delta t^*$  від режимних параметрів котлів і типу димової труби.
5. Запропоновано та обґрунтовано застосування для металевих та залізобетонних без футерування димових труб комплексу теплових методів, зокрема, підсушування димових газів і зовнішньої теплоізоляції корпусу труби. Встановлено закономірності зміни рівня підігріву димових газів  $\Delta t^*$  від температури відхідних газів котла  $t_{zn}$ , навколишнього середовища  $t_{nc}$  і типу використовуваної теплоізоляції.
7. За результатами зіставлення ефективності розглянутих теплових методів відвернення конденсації визначено межі раціонального застосування кожного з них.

## Перелік використаних джерел

Buharkin, E. N. (1997). Obespechenie nadezhnykh usloviy ekspluatatsii gazootvodyashchego trakta v kotelnykh s kondensatsionnymi ekonomayzerami [Ensuring reliable operating conditions for the gas exhaust duct in boiler rooms with condensing economizers]. *Теплоенергетика*, 9, 29–34. [in Russian].

- Dolinsky, A. A., Fialko, N. M., Navrodskaia, R. A., et al. (2014). Osnovnye printsipy sozdaniya teploutilizatsionnykh tekhnologiy dlya kotelnykh maloy teploenergetiki [Basic principles of creating heat recovery technologies for small boilers houses power engineering]. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 4, 27–36. [in Russian].
- Fialko, N. M., Gnedash, G. O., Shevchuk, S. I., et al. (2015). Zastosuvannya teplovykh metodiv zahystu gazovidvidnykh traktiv kotliv pry pidvyshchennykh rivnyakh vologosti vidhidnykh gaziv [Application of thermal methods for protecting gas exhaust ducts of boilers at elevated levels of flue gas humidity]. *Problems of ecology and operation of energy facilities: a collection of works*, (pp. 166–170). Kyiv. [in Ukrainian].
- Fialko, N. M., Navrodskaia, R. A., & Presich, G. A. (2007). Analiz effektivnosti teplotobmennogo oborudovaniya dlya obespecheniya otstutstviya kondensatoobrazovaniya v gazootvodyashchikh traktakh kotelnykh [Analysis of the efficiency of heat transfer equipment to ensure that no condensation in the gas exhaust ducts of boiler plants]. *Problems of Industrial Heat Engineering, Proceedings of the 5th International Conference*, (pp. 171–172). Kyiv, 2007. [in Russian].
- Fialko, N. M., Navrodskaia, R. A., Presich, G. A., et al. (2003). Doslidzhennya rezhymiv roboty dymovykh trub kotelen za umov glybokogo oholodzhennya gaziv [Research of operating modes of chimneys of boiler-houses with deep cooling of gases]. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 4, 72–74. [in Ukrainian].
- Presich, G. A. (2000). Obespechenie nadezhnoy raboty gazovogo trakta kotelnykh ustanovok s teploutilizatorami [Ensuring reliable operation of the gas pass of boiler plants with heat recovery units]. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 5-6, 77–81. [in Russian].
- Shevchuk, S. I. (2011). Pidvyshchennya effektivnosti zastosuvannya teplovykh metodiv zahystu gazovidvidnykh traktiv kotelnykh ustanovok z kondensatsionnyimi teploutilizatorami [Increase of heat methods efficiency of the gas-escape paths protection at the boiler plants with condensation heat utilizers]. *Abstract of Cand. Sci. (Tech.) dissertation, Engineering Thermophysics and Industrial Heat Power Engineering*. Kyiv, Ukraine, 20 p.
- Shoyhet, B. M., Stavritskaya, L. V., & Bobkova, N. I. (2001). Teplovaya izolyatsiya metallicheskih stvolov dymovykh trub [Thermal insulation of metal shell of chimneys]. *Energoberegenie*, 5, 60–64. [in Russian].
- Zhydovych, O. V., Alshevskiy, V. N., & Duzhyh, F. P. (1977). Ohlazhdenie gazov v dymovykh trubah [Cooling of gases in chimneys]. *Thermal Engineering*, 9, 44–47. [in Russian].

**Н. М. Фіалко, Р. А. Навродская, С. И. Шевчук, Г. А. Пресич, Г. А. Гнедаш**

*Институт технической теплофизики, НАН Украины, г. Киев, Украина*

## ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ГАЗОТВОДЯЩИХ ТРАКТОВ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Выполнены расчетные исследования относительно предотвращения конденсатообразования в газоотводящих трактах котельных установок при использовании методов: частичного байпасирования отходящих газов мимо теплоутилизатора, подмешивание к дымовым газам после теплоутилизатора нагретого воздуха, подсушивание этих газов путем их нагревания в поверхностных теплообменниках и метод теплоизоляции димовых труб. Приведены принципиальные схемы котельных установок при применении систем теплоутилизации отходящих газов с использованием указанных методов защиты газоотводящих трактов. Показана эффективность метода байпасирования в широком практическом диапазоне изменения основных определяющих параметров. Для воздушного метода выявлены закономерности изменения тепловлажностного режима в газоотводящем канале котельной в зависимости от температуры нагретого подмешиваемого воздуха и его доли в общем расходе димовых газов. Установлена зависимость необходимых для предотвращения конденсатообразования уровней подогрева димовых газов от режимных параметров котлов и типа димовой трубы для метода подсушивания отходящих газов. Приведены данные относительно эффективности применения для металлической и железобетонной без футерования димовых труб комплекса тепловых методов, в частности, подсушивания димовых газов и внешней теплоизоляции корпуса трубы. По результатам сравнительного анализа эффективности указанных тепловых методов предотвращения конденсатообразования определены границы рационального применения каждого из них.

**Ключевые слова:** газопотребляющие котлы; глубокое охлаждение отходящих газов; предотвращение конденсатообразования; димовые трубы разного типа.

## **HEAT METHODS OF THE GAS-ESCAPE CHANNELS OF BOILER INSTALLATIONS BY HEAT-UTILIZATION TECHNOLOGIES APPLICATION**

The article is devoted to research on the thermophysical substantiation of the application of thermal methods for the prevention of condensation formation in gas-escape tracks of gas-consuming boilers of municipal heat power engineering equipped with systems of deep utilization of exhaust gases. Considered such known thermal methods as: partial bypassing exhaust gas of the boiler past the heat utilizer, mixing with the heat utilizer of cooled gases the air, heated in the air heaters of the boiler, the drying of these gases in special heat exchangers, gas heaters, and also external thermal insulation of the chimney. To determine the effectiveness of these thermal methods, extensive parametric studies have been carried out at the standard operating conditions of the heating boilers for different types of chimneys: metal, brick, reinforced concrete with lining and without it. Influence regularities on heat and humidity condition in these chimneys are determined by such defining parameters as the boiler load, the exhaust gases temperature in the nominal regime, initial temperature of heating water in heat utilizer, the excess air factor and the thermophysical characteristics of the thermal insulation material. It is shown that the bypass method is effective for brick and reinforced concrete with lining of chimneys. For metal and reinforced concrete without lining of chimneys, this method is effective only at high levels of exhaust gas temperature behind the boiler in nominal mode and higher values of boiler load. Regarding the air method, the influence of the temperature of heated sub-merged air and its share in the total flow of flue gases on the heat and humidity regime in the gas-duct boiler-house was carried out. For the drying method, the dependencies required for the prevention of condensation formation of the heating levels of exhaust gases from the boiler parameters and type of the chimney are established. It is proposed and grounded application of thermal methods for metal and reinforced concrete without lining of chimneys, in particular, drying of exhaust gases and external thermal insulation of the pipe shell. As a result of the comparison of the efficiency of the considered thermal methods of condensation deviation, the limits of rational use of each of them are determined.

**Keywords:** gas-consuming boilers; deep cooling of exhaust gases; corrosion prevention; different types of chimneys.