

Д. В. Степанов, к. т. н. доц; Л. А. Боднар

## МЕТОДИ ЗАПОБІГАННЯ КОНДЕНСАЦІЇ СМОЛ В КОТЛАХ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ НА НЕТРАДИЦІЙНИХ ПАЛИВАХ

### Вступ. Постановка задачі

Під час газифікації деревини, торфа, бурого вугілля, а також деяких видів кам'яного вугілля виділяється значна кількість смолянистих речовин, які конденсуються при охолодженні газу. Смолянисті речовини важко виділити з газу, оскільки їх дрібні частинки являють собою заповнені газом бульбашки, що легко відносяться. Пари води з смолою знижують якість генераторного газу, забруднюють канали теплообмінників теплогенераторної установки, а налипаючи в димоході, можуть спричинити його загорання. Ця проблема є досить актуальною, особливо зважаючи на швидкий темп розповсюдження теплогенерувального обладнання на твердому паливі [1].

Смоли при температурі газу більше 400°C знаходяться в пароподібному стані. Тому, якщо температура газу достатньо висока, смоли не виділяються чи виділяються в незначній кількості. Для отримання безсмольного газу Гінзбург Д. Б. [2] рекомендує генераторний газ пропускати через зону високих температур. Така зона присутня в сучасних двокамерних газогенераторних котлах з низхідним рухом димових газів.

Відомостей, які нормують викиди по шкідливих викидах, під час роботи газогенераторних котлів малої потужності в вітчизняній літературі нами не виявлено. Крім того в літературі відсутні відомості про концентрацію смол в димових газах таких котлів. Спостереження за роботою газогенераторного котла показали, що при спалюванні деяких порід деревини, в котлі може відкладатись певна кількість смол (в димовій трубі, в теплообміннику).

**Метою** даної роботи є аналіз методів і засобів запобігання конденсації смол в котлах малої потужності на нетрадиційних паливах.

Відомо [3], що в установках газифікації твердого палива, в залежності від конструкції концентрація смол в газі може бути різною:  $10 - 100 \text{ г/м}^3$  – для прямого процесу, для оберненого процесу –  $50 - 500 \text{ мг/м}^3$  ( рух газів вниз через розпечений щільний шар коксового залишку).

В роботі [4] проводилась оптимізація конструкції газогенератора в оберненому режимі потужністю 100 кВт. За найкращих умов (якісний склад генераторного газу) був отриманий вміст смол в газі  $10...12 \text{ г/м}^3$

Згідно даних [5], при газифікації (рух газів донизу) стружок деревини ( $\rho=166 \text{ кг/м}^3$ ,  $W^p=11\%$ ) виділяється приблизно  $6 \text{ г/м}^3$  смол, при газифікації дрів ( $\rho=256 \text{ кг/м}^3$ ,  $W^p=6\%$ ) –  $3,24 \text{ г/м}^3$ , качанів і стебел кукурудзи ( $W^p=11\%$ ) –  $7,24 \text{ г/м}^3$ .

На сайті Голландської компанії ECN [6], яка займається вивченням властивостей смол, їх конденсації та очищенням від них димових газів в роботі “Primary measures for tar reduction in fluidized-bed biomass gasifiers” розміщена система класифікації смол. Вона базується на розчинності смоли в воді і температури її конденсації. За даними іноземних досліджень [6], смоли за своїми фізичними властивостями поділяються на п'ять класів. В залежності від класу смоли і її концентрації в продуктах згорання, температура точки роси смоли буде різною.

За даними [7] смола деревини являє собою складну суміш органічних речовин: фенолів (10 – 25 %), кислот (10 – 30 %) і нейтральних речовин (40 – 55 %). В склад фенолів входять фенол, крезол, ксиленол, о–етилфенол, псевдокуменоли, пірокатехін, гваякол, метилові ефіри пірогаллола та ін. Із кислот присутні представники жирного ряду від мурашиної до каприлової, бегенова та ін. В склад нейтральних сполучень входять кетони, альдегіди, спирти, вуглеводневі різних класів та ін.

Серед п'яти класів смол нами виділені такі, які найбільше відповідають властивостям смоли деревини. Такими класами згідно класифікації ECN є клас 2 і клас 4. Клас 2 – це гетероциклічні компоненти ( фенол, пуріден, крезол), які виявляють високу розчинність у воді. Клас 4 –

легкі поліароматичні вуглеводневі (2-3 rings PAH's поліароматичні вуглеводневі). Ці компоненти конденсуються при відносно високих концентраціях і середніх температурах. Компоненти смоли: нафталін, метил – нафталін, біфенол та ін. Для згаданих класів температура точки роси смоли однакова і наведена на рис.1. Інші класи – це важкі смоли, компоненти яких конденсуються при високих температурах (125...280) і низьких концентраціях. Залежність температури точки роси смоли від концентрації смоли в димових газах  $C$ ,  $\text{мг/нм}^3$  згідно [ 6] показана на рис.1.

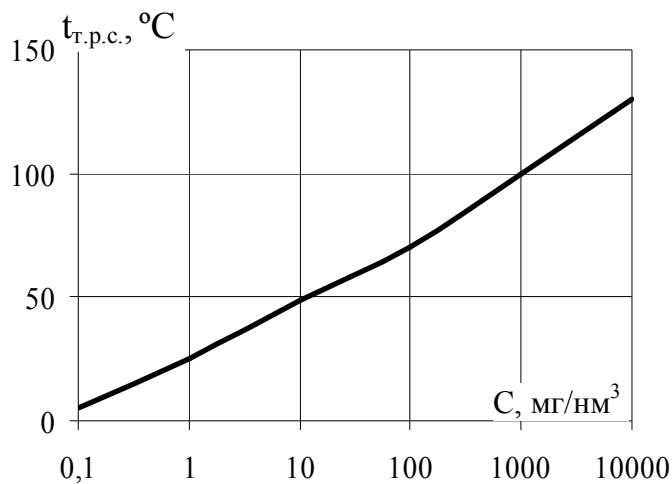
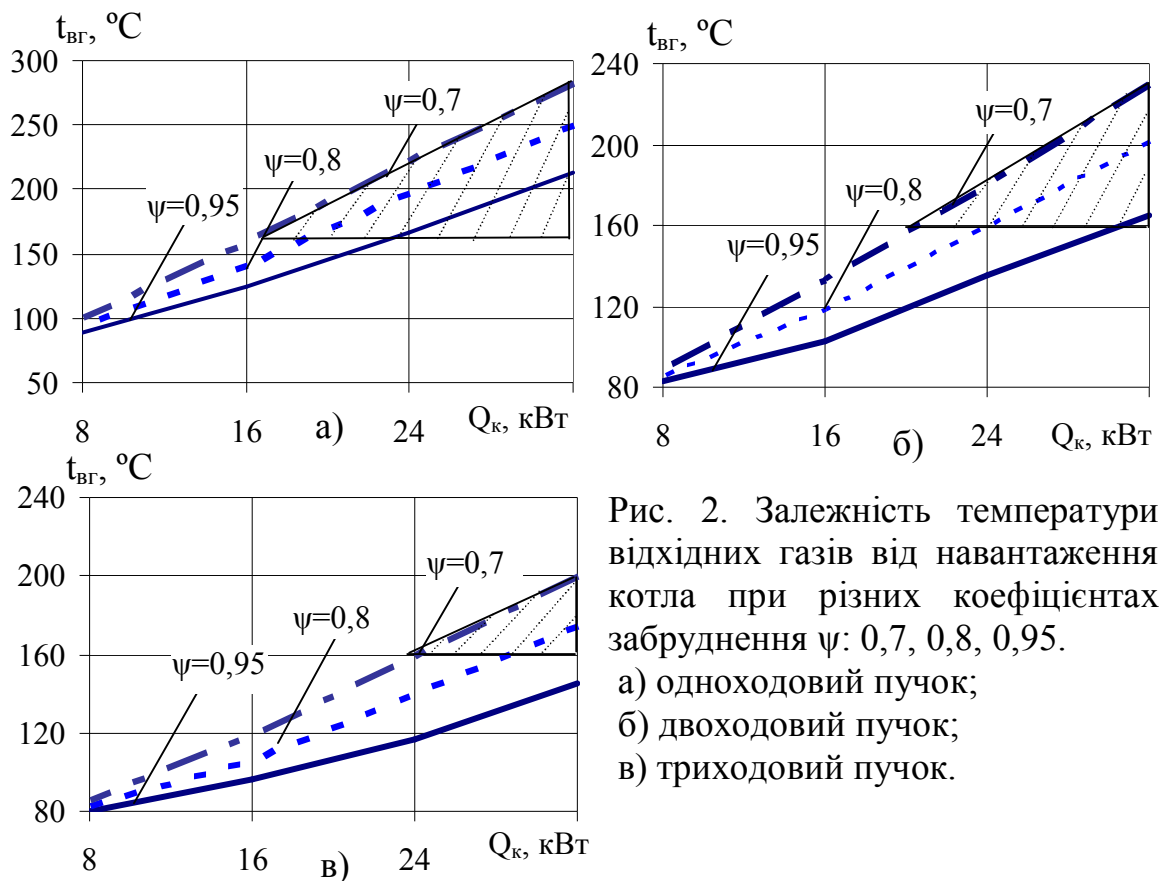


Рис.1. Залежність температури точки роси смоли від концентрації смоли в димових газах.

Орієнтуючись на можливі концентрації смоли в продуктах згорання деревини в котлі малої потужності (1000...10000  $\text{мг/нм}^3$ ) нами виявлено, що, температура точки роси буде складати 100...135  $^{\circ}\text{C}$ . Виходячи з цього нами виділені діапазони роботи газогенераторного водогрійного котла потужністю 32 кВт при

роботі на деревині, при яких виключається можливість відкладання смол. В числових розрахунках коефіцієнт забруднення поверхні приймався  $\psi=0,7$ ,  $\psi=0,8$ ,  $\psi=0,95$ ; жаротрубний пучок виконувався одно - , дво - , та триходовим.

За нашими підрахунками оптимальною температурою димових газів при роботі котла на деревині в номінальному режимі є  $t_{\text{вг}}=160$   $^{\circ}\text{C}$ . Для такої температури ККД, в залежності від конструкції котла, становить 88 – 90 %. При вищих температурах ККД суттєво знижується, а при нижчих – можлива конденсація смол. Оскільки твердопаливні котли часто працюють із зменшеною потужністю, то слід очікувати зниження температури відхідних газів. Тому на етапі проектування котлів цей фактор необхідно враховувати.



Найкраще охолодження газів спостерігається для триходової конструкції теплообмінника котла. Але для такої конструкції діапазон надійної роботи котла, при якому можливо виключити конденсацію смол, найменший рис. 2 в.

Таким чином, рекомендованими потужностями котла є 75...100% від номінальної. При менших потужностях 25...50% можливе відкладання смол в газоходах котла. Для ефективної роботи котла необхідно запобігати тривалій роботі котла на мінімальному режимі.

Для запобігання конденсації смол і водяної пари в димових каналах виконують теплоізоляцію димарів. Для виключення конденсації в димарях температура внутрішньої стінки димаря повинна бути вищою, ніж температура точки роси смоли та водяної пари.

Нами проаналізовані існуючі конструкції димарів, матеріалів, які використовуються для теплоізоляції димарів, а також проведено відповідні

числові дослідження по визначенню оптимального термічного опору конструкції димаря для досягнення необхідної температури стінки.

На сьогоднішній день існує два типи димарів – одноконтурні і двоконтурні. Одноконтурні – труба і фасонні елементи виконані із нержавіючої сталі чи сталі 3. Вони дешеві, і, як правило, використовуються для прокладання димового каналу всередині приміщення чи як вставки в існуючі цегляні димоходи для захисту внутрішньої поверхні. Останнім часом набули поширення тришарові термоізовані труби, які складаються із внутрішньої зварної труби із нержавіючої сталі і зовнішньої труби (кожуха) більшого діаметру. Всередині поміщають шар негорючого ізоляційного матеріалу, наприклад, на основі базальтових порід. Це виключає сильне охолодження відхідних газів і зводить до мінімуму випадання конденсату.

Базальт має низьку теплопровідність  $\lambda=0,031\ldots0,038$  Вт/(м·К) в діапазоні температур від – 260 °С до 600 °С. Промисловість випускає цей матеріал товщиною 5...40 мм. Крім того він екологічно чистий, не містить зв'язуючих смол. Тому навіть при високих температурах ізоляція не виділяє

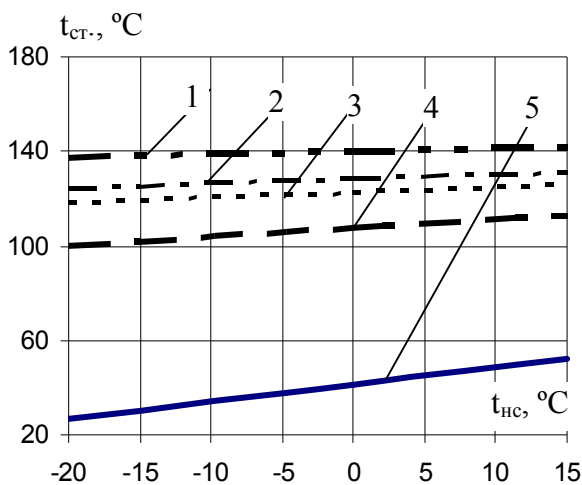


Рис.3. Температура внутрішньої стінки димаря  $t_{ст.}$ , °С в залежності від температури навколишнього середовища  $t_{нс.}$ , °С.

1 – nobasil,  $R=1,2$  (м<sup>2</sup>К)/Вт; 2 – базальтоне волокно,  $R=0,69$  (м<sup>2</sup>К)/Вт; 3 – повсть,  $R=0,56$  (м<sup>2</sup>К)/Вт; 4 – цегляна кладка,  $R=0,32$  (м<sup>2</sup>К)/Вт; 5 – сталевий димар,  $R=0,0001$  (м<sup>2</sup>К)/Вт.

речовин з неприємним запахом. Для теплоізоляції димоходів також використовують повсть з  $\lambda=0,09\ldots0,14$  Вт/(м·К) в діапазоні температур 200 °С...600 °С. Набув поширення теплоізоляційний матеріал Nobasil R-PPD з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda=0,035$  Вт/(м·К).

Нами проведений числовий розрахунок по визначенню температури стінки труби димохода (рис.3) в залежності від температури

навколишнього середовища і термічного опору теплової ізоляції.

Температура димових газів в розрахунках прийнята 160 °С, швидкість димових газів  $w_T=1,36$  м/с, діаметр труби димаря  $d_T=0,2$  м.

Показано, що найефективнішими теплоізоляційними матеріалами є nobasil товщиною  $\delta=4,2$  мм і базальтове волокно  $\delta=3,5$  мм. Збільшення товщини теплоізоляційного матеріалу приводить до здорожання конструкції димохода.

Конденсат продуктів згорання навіть природного газу володіє достатньо високою корозійною активністю ( $pH=2\dots5$ )[8], тому ізоляція димоходів дозволяє не лише запобігти відкладенню смол, а й корозії стінки.

Тому нами також проведене дослідження необхідної товщини теплоізоляції для запобігання конденсації смоли та водяної пари (рис.4). В розрахунках прийнято, що для запобігання конденсації смоли температура стінки повинна складати  $t_{с,дим}=135^\circ\text{C}$ , а для водяної пари –  $t_{с,дим}=65^\circ\text{C}$ .

Для того, щоб температура стінки димаря  $t_{с,дим}=135^\circ\text{C}$ , термічний опір при  $t_{н.с.}=-20^\circ\text{C}$  повинен складати  $R=1,11$  ( $\text{м}^2\text{K}$ )/Вт. Серед запропонованих матеріалів найкращими теплоізоляційними характеристиками володіє

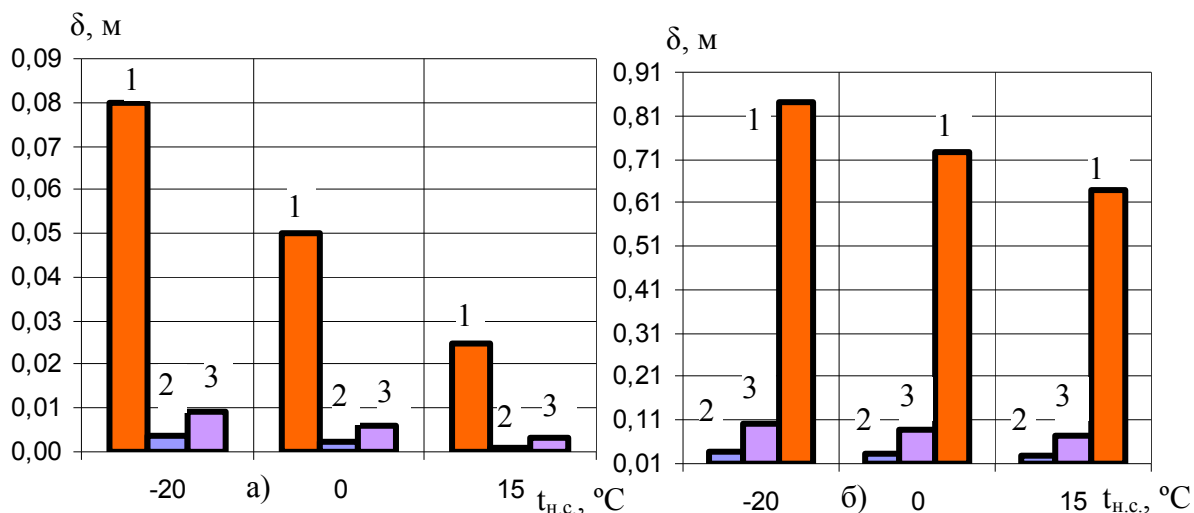


Рис.4. Розрахунок необхідної товщини теплоізоляційного матеріалу для запобігання конденсації водяної пари (а) та смоли (б) в димоході в залежності від температури навколишнього середовища. 1 – цегляна кладка, 2 – базальтове волокно 3 – повсть. базальтове волокно. Для запобігання конденсації водяної пари достатньо цегляної кладки.

**Застосування буферних ємкостей.** Режим тепловіддачі у твердопаливних котлах має циклічний характер тому коливання температури повітря в приміщеннях, що опалюються досягає 3 – 8 °С на протязі доби. За допомогою спеціальних змішувачів, що працюють без електроенергії, і буферних накопичувачів теплоти можна надлишкове тепло, що утворюється під час горіння котла, акумулювати в буфері і після прогорання палива в котлі знову направляти цей надлишок в опалювальні прилади. Ця технологія дозволяє: суттєво знизити витрату палива; виключити перепади температури на протязі доби; за виключенням найхолодніших днів, розпалювати котел лише один раз на добу; запобігти конденсації смол.

Отже, можна виділити такі методи запобігання відкладення смол:

1. створення зон високої температури;
2. відповідність потужності котла фактичному споживанню теплоти;
3. використання буферних ємкостей для згладжування піків споживання;
4. ізоляція димоходів;
5. дотримання вологості палива 12 – 20%;
6. підтримання температури зворотної води не менше 65 °С;
7. запобігання тривалої роботи котла на мінімальному режимі.

## **ВИСНОВКИ**

При розробці котлів малої потужності на нетрадиційних паливах обов'язково повинна враховуватись можливість конденсації смол. Запобігання конденсації смол в котлах малої потужності є більш ефективним методом, ніж очищення димових газів або котла. Аналіз літературної інформації та інформації з Internet дозволив визначити орієнтовні значення точки роси смоли при спалюванні деревини. Це дозволило оцінити температуру газів на виході з котла та необхідну теплоізоляцію димоходів. За допомогою математичного моделювання визначені діапазони потужності котла, для яких можливо виключити конденсацію смол.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Степанов Д. В. Тенденції розвитку теплогенерувального обладнання на

- твердому паливі / Степанов Д. В., Ткаченко С. Й., Боднар Л. А. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 3. – С.46 – 49.
2. Д. Б. Гинзбург. Газификация твердого топлива / Д. Б. Гинзбург. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1958. – 200 с.
  3. Попов А. В. Управляемый процесс газификации биомассы / А. В. Попов, А. Ф. Рыжков // Промышленная энергетика. – 2008. – № 1. – С. 27 – 31.
  4. Соловьев В.Н. Отработка элементов технологии газификации местных видов топлива и органических отходов в обращенном режиме / В. Н. Соловьев, Л. А. Бида, Г. И. Фокина и др. – Минск, 2003. – 37с. – (Препринт/НАН Беларуси. Объед. ин – т энергетич. и ядер. исслед. – Сосны; ОИЭЯИ – 9.
  5. Biomass gasification. Режим доступу [http:// nariphalnan.virtualave.net/gasbook.pdf](http://nariphalnan.virtualave.net/gasbook.pdf).
  6. [www.thersites.nl](http://www.thersites.nl)
  7. Козлов В. Н., Нимвицкий А. А., Технология пирогазификационной переработки древесины, М.—Л., 1954.
  8. Воликов А. Н. Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности. – Л.: Недра, 1989. – 160 с. ISBN 5 – 247 – 00452 – 3.

**Степанов Дмитро Вікторович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету, тел. 598339, [StepanovDV@mail.ru](mailto:StepanovDV@mail.ru).

**Боднар Лілія Анатоліївна**, асистент кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету, тел. 598339 [Bodnar06@ukr.net](mailto:Bodnar06@ukr.net)