

Каракаш Є. О., Грес Л. П., Гупало О. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РУХУ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ ПО ДИМОВОМУ ТРАКТУ ДОМЕННИХ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ

Karakash Y., Gres L., Gupalo O.

RESEARCH OF GAS-DYNAMIC PROCESSES OF MOTION OF COMBUSTION PRODUCTS OF BLAST-AIR HEATERS

У статті розглянуті методи фізичного моделювання газодинамічних процесів і розрахунок аеродинамічного опору при русі продуктів горіння по димовому тракту. Проведено аналіз існуючих способів посилення відводу продуктів згоряння доменних повітрянагрівачів та виявлено їх основні недоліки. Розглянуто основні принципи створення математичних моделей руху димових газів по димовому борові та зроблено оцінку їх адаптивності до існуючих умов. Виявлено основні причини зменшення тяги у димовому борові доменного цеху Дніпровського ДМЗ. Проведено дослідження стану вогнетривкої футерівки та виявлено основні причини невеликого терміну її роботи. Розглянуто явища ежекції та інжекції на основі яких існує декілька способів збільшення тяги у димовому тракту. Проведено дослідження рівня тиску продуктів згоряння на виході з камери спалення на діючих повітрянагрівачах. Виявлено вплив взяття доменної печі на тягу через повітрянагрівачі на тривалість терміну служби вогнетривів димового борові та ступінь перемішування продуктів згоряння при тангенціальній подачі в загальний борів. Проведено розрахунок втрат тиску в димовому борові в умовах доменного цеху Дніпровського ДМЗ. Розглянуто способи посилення значення тяги для ефективного димовидалення з доменних повітрянагрівачів. У ході експериментів виявлено розподіл потоків між ежектором та навколо сопла. Зроблено висновки щодо необхідності використання деяких способів посилення тяги у димовому борові та відповідності деяких коефіцієнтів місцевих опорів до отриманих експериментальних даних. Запропоновано провести подальші фізичні експерименти для уточнення коефіцієнтів місцевих опорів.

Ключові слова: повітрянагрівач, димова труба, місцевий опір, інжекція, ежекція

The article deals with the methods of physical modeling of gas-dynamic processes and the calculation of aerodynamic resistance in the motion of combustion products on the exhaust system. The analysis of existing methods for increasing the diversion of combustion products of hot stoves has been carried out and their main disadvantages have been identified. The basic principles of creation of mathematical models of flue gas flow on an exhaust system are considered and an estimation of their adaptability to the really conditions. The main reasons for the reduction of traction in the exhaust system of the blast-furnace shop of Dneprovsky DMZ are revealed. The research of the state of refractory lining was conducted and the main reasons of a short period of its work were revealed. The ejection and injection phenomena on the basis of which several ways of increasing traction in the chimney tract are considered. Investigations of the level of pressure of combustion products at the exit from the combustion chamber on the existing air heaters have been carried out. The influence of taking blast furnace on draft through air heaters on the duration of service life of refractories of exhaust system and the degree of mixing of combustion products during tangential feeding to common forests is revealed. The calculation of pressure losses in the smoke boron under the conditions of the blast-furnace shop of Dneprovsky DMZ is carried out. Considered ways to increase the value of traction for effective smoke removal from blast air heaters. During the experiments, the distribution of flows between the ejector and around the nozzle was detected. Conclusions are made on the necessity of using some methods for increasing traction in smoke boron and the correspondence of some coefficients of local resistance to experimental data. It is suggested to conduct further physical experiments to specify the coefficients of local resistance.

Key words: hot stoves, chimney pipe, local resistance, injection, ejection

Вступ

В роботі [1] були розглянуті основні причини порушення нормальної роботи вузла відведення димових газів у блоку повітрянагрівачів. Автори провели дослідження стану димових борів під час капітального ремонту доменної печі. Після семи років роботи вузла відведення димових газів з повітрянагрівачів спостерігалася значна кількість ґрунтових вод у лежаках, а також велика маса скопленої вогнетривкої футерівки, яка в деяких місцях істотно зменшувала прохідний перетин борова (рис.1).

Крім того, деякі конструктивні особливості, пов'язані із взаємодією потоків димових газів з кожного повітрянагрівача з магістральним потоком диму в загальному борові (рис.2), це може створювати додаткові труднощі на шляху продуктів горіння. Наявність великої кількості різних поворотів і

звужень також збільшує загальний аеродинамічний опір.

Для усунення природного зниження тяги в димовому борові і димарі передбачені заходи, які зможуть компенсувати збільшення аеродинамічного опору.

Відомі методи збільшення тяги системи димовидалення

Як терміновий захід пропонується використовувати тимчасовий інжекційний малопотужний палик у основі димової труби.

Цей захід дозволить збільшити середню температуру диму в нижній частині димової труби і тим самим підвищити тягу всередині труби по її висоті. З іншого боку, встановлення такого палика в осьовому напрямку створить ефект для всієї маси димових газів.



Рисунок 1 Стан виходу до димаря блоку повітрянагрівачів в період капітального ремонту



Рисунок 2 Димової патрубков нагрівача, що входить в загальний борів

Крім того, варіантом посилення тяги може бути встановлення парового інжектора в димовій трубі або установка додаткового димососа прямої або непрямої дії.

Однак ці заходи вимагають істотних капітальних витрат або мають короткостроковий ефект. Тому в якості оптимального рішення посилення тяги пропонується використання ежектруючого ефекту в нижній частині димової труби шляхом введення додаткової кількості продуктів горіння.

Згідно з дослідженнями І.Д. Семикіна [2] раніше була розглянута установка ежектора в гирлі труби разом з дифуззором, який встановлюється також на гирлі труби. При цьому дифуззор також підсилює тягу за рахунок своєї висоти $h_{\text{диф}}$ і за рахунок конічної ділянки в кінці, що збільшує прохідний перетин, зменшуючи втрати на вихлоп з труби

$$P_{\text{вих}} = \frac{w^2 \rho}{2} \varepsilon, \text{ так як швидкість обернено пропо-}$$

рційна площі перетину.

Також раніше були розглянуті посилення тяги димаря в двох варіантах [3]:

1. Система Ісмет, в якій вентиляторне повітря проходить через сопло, встановлене перед горловиною труби Вентурі в основі димової труби. Також автори вказують, що для посилення тяги можуть використовуватися і парові інжектори з постійною великою витратою пара і вважають, що цей спосіб є принципово невірним.

Автори системи Ісмет вважають, що повітряний ежектор найкраще ставити вгорі труби (Проте в цьому випадку повітропровід повинен бути піднятий на висоту 40-50 м, що збільшує капітальні витрати). Якщо ж встановити ежектор біля основи димової труби, то це буде мати недоліки (автори вказують, що це буде неправильно): витрата ежектруючого повітря становить 0,6-1 від витрати диму. Повітря - холодне, отже воно охолодить дим і природна тяга зменшиться. Крім того, ежектуюче повітря значно збільшує кількість газів, що проходять через трубу, збільшуючи опір тертя. Як вказують автори, відомі випадки, коли тяга навіть зменшувалася. Іноді, випадки замикання ежекції в подібних умовах спостерігалися також в газотурбінних двигунах літаків.

У одного з провідних фахівців в області гідродинаміки С.І. Аверіна [4] є вираз:

$$f_1 = \frac{1 + \sqrt{1 - 2BEu}}{B}$$

З якого випливає, що інжекція не відбувається якщо, число рішень дорівнює 0 (корені рівняння є уявними).

Для наших умов за даними промислових досліджень на доменній печі №3 на Дніпровському ДМЗ і за наведеним висловом визначаємо В, Еu і відповідність цих даних наведеним виразом.

У доменному цеху Дніпровського ДМЗ підведення диму від димових клапанів в борів виконаний тангенціально. Це пов'язано з тим, що борів лежить у бетонній основі. Щоб не послаблювати фундамент димаря його обходять, вводячи дим тангенціально. Це істотно збільшує коефіцієнт місцевого опору ділянки димової клапан-борів безпосередньо за поворотом диму. Тангенціального введення газових середовищ може бути корисне для поліпшення перемішування газу з повітрям в

пальниках, але в даному випадку таке введення має швидше негативний ефект

Але на деяких підприємствах існує і попутне введення диму в загальний борів (такий також раніше застосовувався на ДП6 Дніпровського ДМЗ) - більш вигідний з точки зору зниження втрат тиску, тобто економічніший.

Різні варіанти розрахунків ежектора, встановленого в гирлі труби, були розглянуті на прикладі аналізу роботи вузла димовидалення

Газодинамічний розрахунок димового тракту

Втрати тиску розраховували послідовно для кожного елемента димового тракту. При цьому враховували місцеві опори і опору тертя. Геометричний напір прийнятий рівним нулю. Розрахунки виконані при витраті доменного газу на блок 105000 м³/год. Схема виходу до димаря приведена на рис. 3, в таблиці 1 наведені геометричні розміри борова в перетинах 1-1 і 2-2.

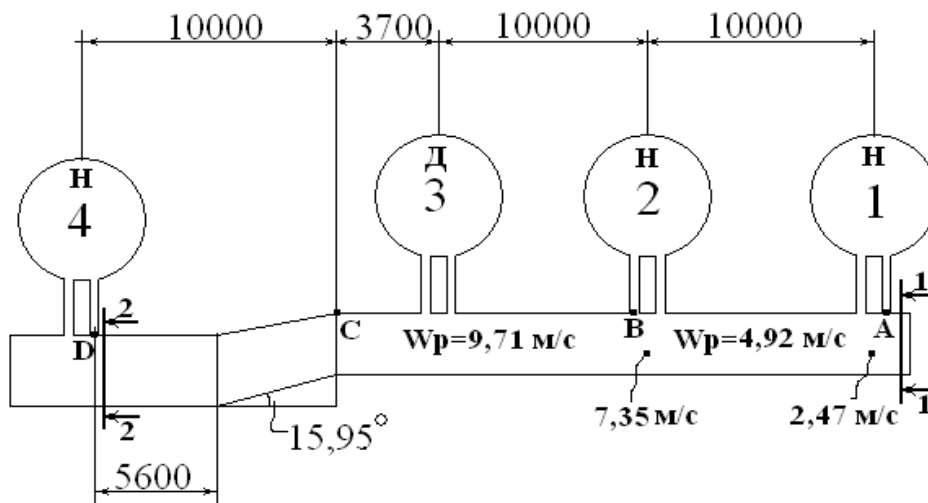


Рисунок 3. Схема димового борова (Н – ПН-1, 2, 4 – на нагріві, Д – ПН-3 – на дутті)

Таблиця 1
Геометричні розміри борова в перетинах 1-1 і 2-2

Параметри	Площа перетину, м ²	Еквівалентний діаметр, м	Периметр, м
Перетин 1-1	5,610	2,501	9,336
Перетин 2-2	5,789	2,533	9,143

Запишемо рівняння Бернуллі для перетинів 1-1 і 2-2 до димаря блоку повітрянагрівачів ДП-3:

$$p_1 + \alpha_1 \cdot \rho \cdot \frac{w_1^2}{2} = p_2 + \alpha_2 \cdot \rho \cdot \frac{w_2^2}{2} + \Delta p_{mp} + \Delta p_{mc}, \quad (1)$$

де α_1 , α_2 - коефіцієнти, що враховують нерівномірність профілів швидкостей по поперечним вертикальним перетинам борова. і прийняті рівними 1;

p_1 та p_2 - статичний тиск в перетинах 1-1 і 2-2, Па.

З (1) визначимо:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} \cdot (w_2^2 - w_1^2) + \Delta p_{mp} + \Delta p_{mc}. \quad (2)$$

Згідно з даними проведених експериментальних досліджень по визначенню тисків в точках виходу до димаря блоку повітрянагрівачів ДП-3 маємо: на димовому клапані ПН1 $p_1 = +13$ мм.вод.ст., на димовому клапані ПН 2 $p_2 = -8$

мм.вод.ст. Таким чином, перепад статичного тиску між перетинами 1-1 і 2-2 ($p_1 - p_2$) склав 21 мм. вод. ст при витраті доменного газу на блок 95000 м³/год, що становить 25,64 мм. вод. ст при перерахунку на витрату доменного газу на блок 105000 м³/год.

Втрати тиску на місцевих опорах визначали як

$$\Delta p_{mo} = \xi_{mo} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \text{ Па} \quad (3)$$

де ξ_{mo} - коефіцієнт місцевих опорів;
 ρ - густина газу при дійсних умовах (температурі і тиску), кг/м³;

w - фактична (в робочих умовах) швидкість газу, м/с.

Коефіцієнти місцевих опорів визначали згідно [5].

Втрати тиску на подолання опору тертя Δp_{tr} для бічних поверхонь борова і його склепіння визначали як:

$$\Delta p_{tr} = \lambda_{mp} \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \text{ Па} \quad (4)$$

де λ_{tr} - коефіцієнт тертя;
 L - довжина ділянки, м;

d - гідравлічний діаметр каналу, м.

Втрати тиску на подолання опору тертя Δp_{tr} для дна борова визначали згідно [6] наступним чином:

$$\Delta p_{mp} = 9,81 \cdot \frac{L}{L_{цегл}} \cdot \alpha \cdot \frac{L_{цегл} \cdot P}{S} \cdot w^2, \text{ Па} \quad (5)$$

де $L_{цегл}$ - відстань між рядами цегли по ходу димових газів, м;

P і S - периметр борова і його поперечний переріз, м і м²;

$$\alpha = 0,0022 \cdot 3 \sqrt{\frac{L_{цегл}}{S_{цегл}}};$$

$S_{цегл}$ - миделевий перетин цегли, тобто проєкція цегли на площину перпендикулярну потоку, м²

У розрахунках брали $L_{цегл} = 0,25$ м, $S_{цегл} = 0,065 \times 0,115 = 0,007475$ м².

Втрати тиску на подолання тертя для бічних поверхонь борова і його склепіння і втрати тиску на подолання тертя для дна борова враховували відповідно до їх часткам в периметрі борова. Результати розрахунку наведені в таблиці 2.

Таблиця 2
 Результати розрахунку втрат тиску в димовому боріві між перетинами 1-1 і 2-2

Найменування розрахункових ділянок	Втрати тиску, Па
Вход потоку – поворот от 1 патрубка ПН-1	8,44
Прохід у 2 патрубка ПН-1	2,614
Прохід у 1 патрубка ПН-2	3,92
Прохід у 2 патрубка ПН-2	5,93
Разом втрати тиску проходів у ПН-1 і ПН-2 без урахування коефіцієнта адаптації К	20,9
Прохід у 1 патрубка ПН-3	5,45
Прохід у 2 патрубка ПН-3	3,14
Поворот борова на кут 15,95 ° ($\xi_{mo} = 0,34$)	13,11
Розширення борова ($\xi_{mo} = 0,1$)	3,856
Втрати на тертя (ділянка А-В) (L=14 м, d=2,501 м)	17,24 Па·0,25+4,76 Па·0,75 =7,88
Втрати на тертя (ділянка В-С) (L=11,7 м, d=2,501 м)	56,37 Па·0,25+15,47 Па·0,75 =22,46
Втрати на тертя (ділянка С-Д) (L=10,0 м, d=2,533 м)	47,98 Па·0,25+13,06 Па·0,75 =21,66
Загальні втрати на тертя	52,00

Для визначення коефіцієнта адаптації моделі даних і розрахунків втрат тиску у димовому боріві до результатів експериментів К вирішимо рівняння (таблиця 2):

(2) з урахуванням отриманих експериментальних

$$25,64 \cdot 9,81 = 0,5 \cdot \rho \cdot (w_2^2 - w_1^2) + \Delta p_{mp} + K \cdot 20,9 + 5,45 + 3,14 + 13,11 + 3,856$$

$$251,53 = 24,58 + 52,0 + K \cdot 20,9 + 25,556$$

$$K \cdot 20,9 = 149,394 \quad K = 7,148$$

Таким чином, коефіцієнт адаптації $K = 7,148$, а втрати тиску проходів у ПН-1 і ПН-2 з його урахуванням рівні 149,393 Па.

Режим роботи ПН, тобто кількість газу (диму) регулюється згідно режимній карті ПНДПЗ.

Варіанти надходження диму в борів:

- від ПН 1,2,3;
- від ПН 2,3,4;
- від ПН 1,3,4;
- від ПН 1,2,4;

Розподіл диму між двома димовими клапанами одного ПН - рівномірний (порівну).

Борів у ПН4 має більший прохідний перетин ніж у трьох інших ПН.

В ході експериментів (моделювання) було визначено розподіл потоків $V_{ж}$ і V - тобто потоків через сопло ежектора і навколо сопла. Розрідження в гирлі труби $P_{вихл} = P_{осн} - P_{эф}$, де

$$P_{эф} = H\gamma \left(\frac{\gamma_{дим}}{1 + \alpha t_{дим}} - \gamma_{окр} \right) - \text{ефективна тяга тру-$$

би.

Подальше визначення значення втрат тиску в умовах зміни режимів роботи доменних повітрянагрівачів вимагає проведення фізичного моделювання газодинамічних процесів з урахуванням теорії подібності для отримання адекватних результатів.

Висновки

Отримані дані свідчать про необхідність в ряді випадків встановлювати додаткові системи для посилення тяги для ефективного димовидалення з доменних повітрянагрівачів, особливо у разі тангенціальної подачі продуктів згоряння в загальний борів.

В даний час в довідниках відсутні дані за коефіцієнтами місцевих опорів для закручених потоків в проходах складної геометричної форми. У прямих трийниках зі злиттям потоків є вельми наближені [4] дані, де такі коефіцієнти визначаються в місці зустрічі потоків. Тому дані які будуть отримані при фізичному моделюванні будуть новими для процесів газодинаміки.

Бібліографічний опис

1. Enhaving the efficiency of smoke removal in the hot-blast stoves / Каракаш Е.А., Грес Л.П., Колдомасов С.В., Флейшман Ю.М. Kosice: Acta Metallurgica Slovaca Industry of Conference, 2013, p.66-68
2. Сборник трудов xxx1. Научные труды металлургического института . Издательство технической литературы Киев 1954 343с.
3. В.Тринс Промышленные печи т.1, М., Металлургия , 1966 – 500 с.
4. Расчеты нагревательных печей /Аверин С.И. и др. 2-е изд., испр. и доп. - Киев: Техника, 1969. 540 с.
5. Казанцев Е.И. Промышленные печи, Справочное руководство для расчетов и проектирования. 2-е издание, М.: Металлургия, 1975. – 368 с.
6. Абрамов Ф.А. Рудничная аэродинамика. М.: Недра, 1972. 274 с.

References

1. Enhaving the efficiency of smoke removal in the hot-blast stoves / Karakash EA, Gres L.P., Koldomasov S.V., Fleishman J.M. Kosice: Acta Metallurgica Slovaca Industry of Conference, 2013, p. 66-68
2. Collection of works xxx1. Scientific works of metallurgical institute. Technical literature publishing house Kiev 1954 343с.
3. V.Trins Industrial Furnaces Vol. 1, M., Metallurgy, 1966 - 500 p.
4. Calculations of heating furnaces / Averin S.I. and others. 2nd ed., Rev. and add. - Kiev: Technique, 1969. 540 p.
5. Kazantsev E.I. Industrial furnaces, Reference guide for calculations and design. 2nd edition, Moscow: Metallurgy, 1975. - 368 p.
6. Abramov F.A. Mine aerodynamics. M. : Nedra, 1972. 274 p.

Стаття постуила 4.11.2018