

В. В. Безкоровайний<sup>1</sup>, аспірант, А. М. Ганжа<sup>2</sup>, д-р техн. наук, професор,  
О. В. Кошельник<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент, Н. А. Марченко<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ РЕГЕНЕРАТИВНИХ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ CFD МЕТОДУ

<sup>1</sup>компанія M ТЕХНОЛОГІЯ

<sup>2</sup>Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Ключові слова:** доменне виробництво, ефективність, паливо, горіння, пальник, повітрянагрівач, теплообмінник, насадка, конструкційний матеріал, металургійна промисловість, математичне моделювання, розподіл температур.

### Вступ

Питома частина витрати природного газу в доменному виробництві України складає 70–90 м<sup>3</sup> на тону чавуну. Питомі витрати умовного палива – до 550 кг на 1 т чавуну. На закордонних підприємствах в доменному виробництві природний газ практично не використовується, а витрати умовного палива є значно меншими. Частка витрат на паливо та електричну енергію в собівартості товарної продукції металургії складає в Україні 40–60 %, а в США, Німеччині, Японії близько 28–35 % [1–11].

Доля коксу в собівартості металопродукції складає приблизно 20 %. У цей час питома витрата коксу на металургійних підприємствах України становить 400–500 кг/т чавуну. На європейських підприємствах цей показник сягає 300–350 кг/т чавуну. Вихід доменного газу становить у середньому від 2500 до 1500 м<sup>3</sup>/т чавуну.

### Аналіз стану питання

Витрата дуття на 1 м<sup>3</sup> корисного обсягу доменної печі становить від 2,2 до 2,6 м<sup>3</sup>/хв. Продуктивність повітродувки досягає 4000–4300 м<sup>3</sup>/хв. На спалювання 1 т коксу витрачається приблизно 2880 м<sup>3</sup> дуття. Сьогодні для подачі дуття в доменні печі використовують турбоповітродувки. Турбоповітродувка – це багатоступінчастий відцентровий вентилятор. Її ротор має ряд лопаток, що при обертанні направляють повітря до периферії, стискаючи й переганяючи його в наступну ступінь [6–11].

Велика увага приділяється підготовці доменного дуття. Дуттьове повітря спочатку фільтрується, потім стискається до 0,4–0,5 МПа у відцентрових компресорах, збагачується киснем до концентрації 25–32 %. Отримане при цьому холодне дуття по системі трубопроводів відводиться в повітрянагрівачі. Повітря нагрівається до 1150–1300 °С і змішується з певною кількістю пари (до 50–120 г/м<sup>3</sup>) і холодного повітря, витрата якого автоматично підтримується в залежності від заданої температури дуття.

Вдування природного газу також може призвести до зменшення витрат коксу в доменній печі. Додавка природного газу в горн знижує його температуру. Для її підтримки на високому граничному рівні потрібно підвищувати температуру дуття. Раніше велике поширення одержало вдування в доменні печі мазуту. Питома витрата мазуту сягає до 130 кг на 1 т чавуну. Мазут звичайно подають у горн через повітряні фурми. Добре зарекомендувало себе вдування в горн печі мазуто-водневої емульсії.

Використовуючи природний тиск газу, його подають у піч через фурми в зони горіння разом з нагрітим дуттям. Економія коксу при вдуванні природного газу досягається за рахунок: 1) збільшення непрямого й зменшення прямого відновлення; 2) заміни частини вуглецю коксу вуглецем природного газу; 3) зменшення приходу сірки в піч, виходу шлаків внаслідок зменшення витрати коксу, що викликається першими двома факторами.

Витрата природного газу при виплавці передільного чавуну залежно від умов роботи печей змінюється в межах від 60 до 120 м<sup>3</sup> на 1 т чавуну, найчастіше становлячи 70–90 м<sup>3</sup>/т чавуну. Відносна витрата коксу скорочується на 10–14 %, а іноді й більше. Еквівалент заміни коксу природним газом змінюється в межах від 0,8 до 1,5 кг на 1 м<sup>3</sup> газу, становлячи звичайно 0,9–1,1 кг/м<sup>3</sup> газу. При виплавці ливарного чавуну витрата природного газу й економія коксу трохи нижче [3–5, 7–11].

Але у зв'язку із значним подорожчанням газоподібного і рідкого палива використання природного газу або мазуту в доменному процесі є на сьогоднішній день недоцільним.

### Постановка задачі (проблеми)

Визначальний вплив на вихід доменного газу і його теплоту згоряння має питома витрата коксу на тону чавуну. Вплив основних інтенсифікаторів на зміну витрати коксу та продуктивність доменних печей показано в табл. 1 (дані з джерел РФ). З неї видно, що ефект впливу підвищення температури дуття знижується при збільшенні її на більш високому рівні. Те ж спостерігається при збільшенні вмісту кисню в дуття.

Таблиця 1 – Вплив деяких інтенсифікаторів на техніко-економічні показники доменної печі

Енергетичний параметр	Зміна параметрів, %	
	Продуктивність	Витрата коксу
Підвищення температури дуття, °С:		
1000–1100	+1,2	-2,3
1100–1200	+1,0	-2,0
1200–1300	+0,6	-1,5
Підвищення вмісту кисню в дуття на 1 % в інтервалі, %:		
21–25	+2,5	–
25–30	+2,2	–
31–35	+2,0	–
Підвищення тиску доменного газу на 0,01 МПа	+(0,5–1,5)	-0,1

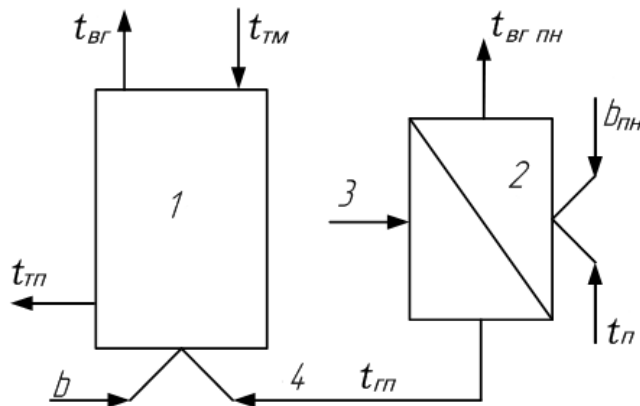
Вдування в повітряні фурми природного газу (на кожні 10 м<sup>3</sup> газу, що віднесений до тони чавуну при температурі дуття 1000 °С) знижує витрату коксу на 7–11 кг. Також витрата коксу зменшується на 8–10 кг при вдуванні 10 кг вугільного пилу на тону чавуну (при вмісті золи в вугіллі 15 %).

При одночасному використанні декількох технологічних факторів не можна арифметично підсумувати їх особливі ефекти – загальний ефект завжди виявляється меншим. Вихід газу залежить від різних факторів, зокрема, інтенсифікаторів плавки.

Питомий вихід доменного газу знижується при збільшенні витрати природного газу, поліпшенні якості шихти (відсотка агломерату й окатишів), підвищенні температури дуття. Однак чітку залежність від окремих факторів виявити практично неможливо. Тут спостерігається одночасний вплив всіх взаємозалежних параметрів. Таким чином підвищення температури повітря (дуття) є найбільш визначальним фактором підвищення ефективності доменного виробництва.

У деяких випадках неможливо здійснювати високотемпературний підігрів повітря горіння шляхом установки традиційних рекуперативних і регенеративних теплообмінників (ТО) за технологічним агрегатом. Для шахтних печей доменного виробництва характерний невисокий рівень температур димових газів, що відходять, тому це не дозволяє нагріти повітря до високої температури. Крім того, робота цих печей супроводжується утворенням великої кількості низькокалорійного доменного газу, що може бути використаний як паливо. Тому тут застосовуються автономні регенеративні повітрянагрівачі (ПН).

На рис. 1 показано схему автономного нагрівання дуття шахтної печі доменного виробництва ( $t_{вг}$ ,  $t_{вг ПН}$  – температури газів, що відходять, після основного агрегату та ПН відповідно;  $t_{тм}$  – температура технологічних матеріалів;  $t_{тп}$  – температура технологічного продукту;  $t_{гп}$  – температура гарячого повітря;  $t_{п}$  – температура повітря горіння ПН;  $b_{пн}$ ,  $b$  – питомі витрати палива в печі та ПН).



1 – шахтна піч; 2 – автономний ПН; 3 – подача холодного повітря в ПН;  
4 – подача гарячого дуття в піч

Рисунок 1 – Схема автономного нагрівання дуття шахтної печі доменного виробництва

Регенеративні повітрянагрівачі доменних печей призначені для високотемпературного нагріву великих обсягів дуттьового повітря. Вони являють собою споруди висотою до 60 м і діаметром до 9 м. Через періодичність роботи теплообмінників даного типу, для кожної доменної печі використовують декілька ТО, об'єднаних у блок (від трьох до п'яти) [6–11].

Повітрянагрівач складається з камери горіння та насадкової камери. Насадка ПН являє собою покладені один на одного блоки з каналами для проходу теплоносія. Насадка розташовується на піднасадковому пристрої, виконаному з жароміцного чавуну. Зовні ПН закривається кожухом з низьколегованої сталі. Для зменшення теплових втрат у навколишнє середовище використовується футеровка вогнетривкими матеріалами та багатошарова ізоляція.

При переключенні ПН з газового періоду на повітряний припиняється подача палива до пальникових пристроїв і починається подача повітря через клапани холодного дуття в піднасадковий пристрій. Так як температура насадки поступово падає, то кількість теплоти, що віддається гарячому повітрю, також зменшується. Отже, температура підігріву повітря буде знижуватися. Для підтримки температури дуття на певному рівні здійснюється підмішування холодного повітря через змішувальний клапан. Такий режим називається послідовним і тривалість циклів нагрівання при цьому складає до 3 год. Температура повітря на виході із ПН підтримується на мінімальному рівні і такий режим роботи теплообмінника не є досить ефективним. Тому часто використовується паралельний режим роботи, при якому стабілізація температури дуття досягається підмішуванням повітря, що надходить із іншого, менш нагрітого повітрянагрівача. Однак робота в такому режимі дещо ускладнює роботу блоку через необхідність установки додаткових клапанів, крім того, збільшується витрата палива.

Доменні повітрянагрівачі можуть мати внутрішню та виносну камери горіння. Експлуатація теплообмінників з внутрішньою камерою горіння виявила ряд недоліків, пов'язаних з розташуванням камери горіння та камери насадки в одному кожусі.

Повітрянагрівачі з зовнішньою камерою горіння мають більше надійною конструкцією в порівнянні з регенераторами із внутрішньою камерою горіння. Зовнішня камера, укладена в самостійний кожух, усуває вплив двох основних недоліків (прямі перетоки газів між камерою горіння й камерою насадки, нахил камери горіння у бік насадки), однак ускладнює конструкцію повітрянагрівача, збільшує його вартість на 20–30 % і вимагає для свого розміщення значно більше місця.

Найбільш сучасною конструкцією є безшахтні ПН, у яких камера горіння і насадкова камера об'єднані в одному корпусі. Це дозволило значно збільшити обсяг насадки й зменшити габарити теплообмінників.

У безшахтних повітрянагрівачах відсутня окрема камера горіння, що дозволяє запобігти ряду пов'язаних з нею недоліків. Спалювання газу організується в паливній системі, що встановлюється на куполі.

В нижній частині куполу розташована коротка кільцева форкамера, внизу якої встановлено кілька десятків керамічних пальників малого калібру. Кільцеві колектори газу й повітря розташовані усередині кожуха. Дослідження його показали, що практично повне спалювання газу досягається на виході з форкамери, нерівномірність розподілу продуктів горіння по насадці становить  $\pm 5\%$ . Повітрянагрівач був успішно випробуваний при роботі з температурою гарячого дуття  $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$  і надійно працює з температурою гарячого дуття до  $1220\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Регенеративні теплообмінники такої конструкції можуть перебувати в експлуатації до 25 років без капітального ремонту. Форкамера зі струйно-вихровою подачею газу й повітря встановлена на верху купола і має незалежну опору кладки на кожух. Закручення струменів газу й повітря у форкамері забезпечують їх інтенсивне та повне спалювання газу до входу в насадку, а також рівномірний розподіл продуктів горіння по насадці [1–11].

### **Мета дослідження**

Метою даного дослідження є визначення ефективності підігріву дуття в пристроях доменного виробництва, надійності та працездатності пристроїв, а, отже – є необхідність застосування математичної моделі на основі CFD методу [12].

### **Математичне моделювання роботи повітрянагрівачів**

В даний момент часу на багатьох металургійних заводах застосовуються доменні повітрянагрівачі з внутрішньою камерою горіння, основною особливістю яких є розміщення в одному корпусі паралельно камери насадки та камери горіння. Також у даних повітрянагрівачах застосовується пальник за типом «труба в трубі», в яку подається доменний газ (або суміш доменного газу з природним/коковим газом) та вентиляторне повітря горіння.

Комплекс даних рішень має низку недоліків:

– руйнування футеровки між камерою горіння і камерою насадки, що призводить до змішування холодного і гарячого дуття і, як наслідок, зменшення температури дуття, а також збільшення кількості СО в димових газах.

– застосування пальника «труба в трубі» призводить до неповного згорання, нерівномірного розподілу продуктів згорання по насадці, високотемпературної повзучості вогнетривкої цегли в районі горіння доменного газу під навантаженням футеровки камери горіння і т.д.

– насадкові блоки з каналами діаметром 40 мм мають значно меншу поверхню нагріву, ніж насадки, що застосовуються в сучасних повітрянагрівачах, з діаметрами каналів 30 і 20 мм.

Нижче на рис. 2 наведено ілюстрації описаних недоліків у конструкції доменних повітрянагрівачів.

Ілюстрації зроблені на базі застосування CFD методу чисельного моделювання [12] процесів гідродинаміки і теплообміну при течії середовища у каналах повітрянагрівача. У математичну модель входять рівняння аеродинаміки, термодинаміки, тепломасообміну багатокомпонентного середовища газів або повітря, балансові рівняння, початкові та граничні умови.

### **Обговорення результатів**

Як видно з рис. 2, існує значна нерівномірність фракції залишку горючих компонентів на вході в камеру насадки. Наявне неповне згорання при використанні пальника типу «труба в трубі» та нерівномірність розподілу температур та швидкостей у вертикальному перерізі повітрянагрівача по осі штуцера пальника типу «труба в трубі». Швидкості на виході зі штуцера пальника та протилежній пристінній області повітрянагрівача можуть доходити до 41–43 м/с.

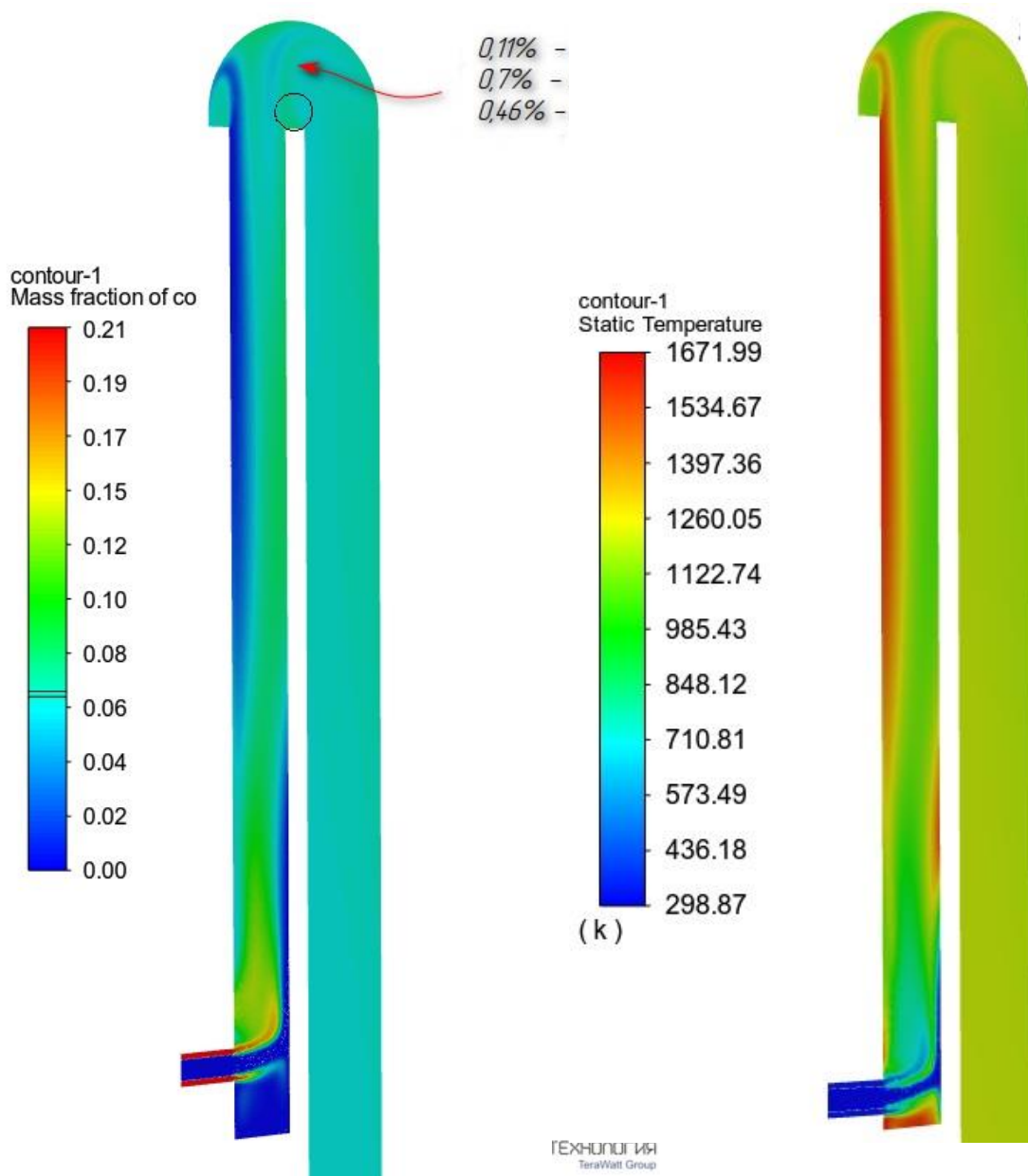
Таким чином раціональним є модернізація доменних повітрянагрівачів із мінімальною зміною існуючого положення (збереження існуючого кожуха, майданчиків обслуговування, арматури тощо). Як пальниковий пристрій тут використовується керамічний пальник. Для збільшення площі поверхні нагрівання камери насадки наша треба здійснити заміну існуючих насадочних блоків діаметром циліндричного каналу 40 мм на насадочні блоки з діаметрами конічних каналів 30 і 20 мм. Дані рішення дозволяють збільшити площу поверхні нагріву насадки практично вдвічі.

Приклад насадочного блоку з конічним каналом діаметром 30 мм. Приведено на рис. 3.

### **Висновки**

У роботі обґрунтована застосування CFD методу чисельного моделювання процесів гідродинаміки і теплообміну при течії середовища у каналах повітрянагрівача. Проілюстровано визначення ефективності підігріву дуття в пристроях доменного виробництва, надійності та працездатності пристроїв, необхідність застосування математи-

чної моделі на основі CFD методу. За допомогою даних методів і засобів можна визначити шляхи модернізації повітрянагрівачів і здійснити аналіз їх ефективності і працездатності.



а) Масові фракції залишку горючих компонентів на вході в камеру насадки. Неповне згоряння при використанні пальника типу «труба в трубі»

б) Нерівномірність розподілу температур у вертикальному перерізі повітрянагрівача по осі штуцера пальника типу «труба в трубі».

Рисунок 2 – Нерівномірність розподілу горючих компонентів та температур у вертикальному перерізі повітрянагрівача

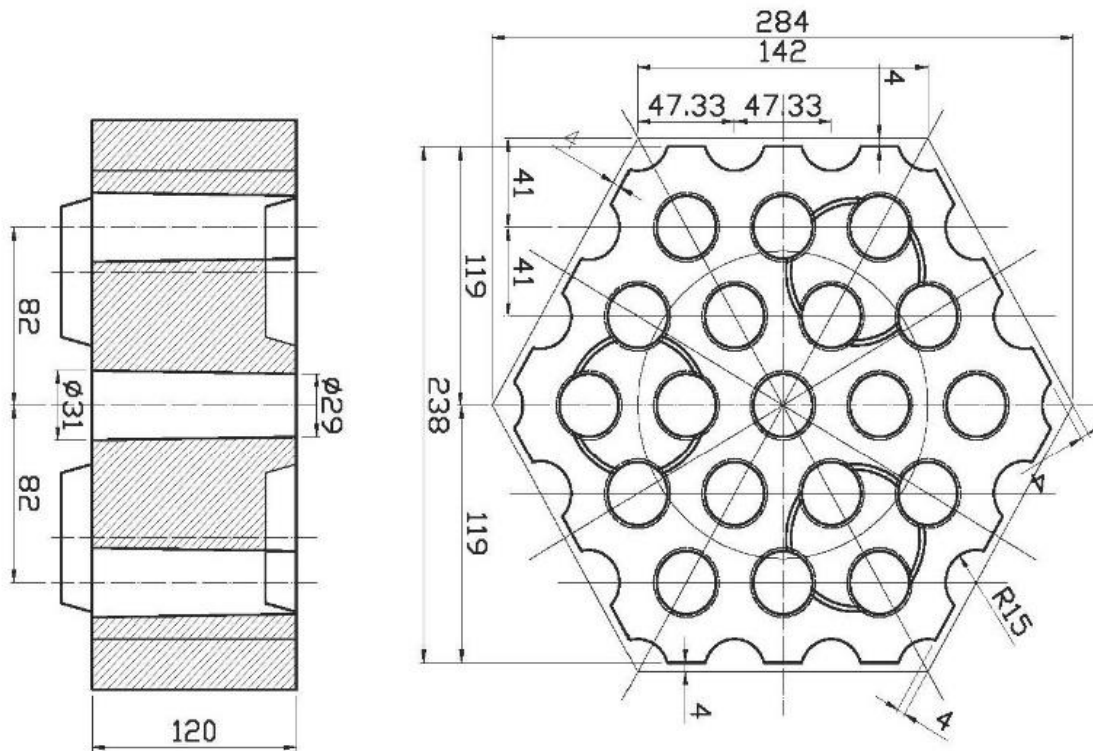


Рисунок 3 – Насадочний блок з конічним каналом діаметром 30 мм

#### Література

1. Satyendra. Generation of hot air blast and hot blast stoves. *In Technical*. 2015. URL: <http://ispatguru.com/generation-of-hot-air-blast-and-hot-blast-stoves>
2. Hot blast stoves once in a lifetime. *Danieli Corus*. 2007. URL: <http://www.danieli-corus.com/media/Stoves.pdf>
3. Prokofyev B., Kalugina M., Murzin Y., Ivlev S., Subbotin A. Development of hot blast stove design without conventional combustion chamber (Kalugin design). *The METEC and 2nd European Steel Technology and Application Days (ESTAD)*. 2015. URL: <http://www.metec-estad2015.com/papers2015final/P24.pdf>
4. Geach M., Fletcher M., Brown G. Development of the ironmaking furnace hot blast system. *The METEC and 2nd European Steel Technology and Application Days (ESTAD)*. 2015. URL: <http://www.metec-estad2015.com/papers2015final/P252.pdf>
5. Vatanakul M., Cruz E., McKenna K., Hynes R., Sarvinis J., Swanepoel J. Waste heat utilization to increase energy efficiency in the metals industry. *Energize*. 2011. August. P. 72–76. URL: [http://www.ee.co.za/wp-content/uploads/legacy/Energize\\_2011\\_/09\\_01\\_set\\_waste-heat.pdf](http://www.ee.co.za/wp-content/uploads/legacy/Energize_2011_/09_01_set_waste-heat.pdf)
6. Worrell E., Blinde P., Neelis M., Blomen E., Masanet E. Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for the U.S. iron and steel industry. *An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers*. 2010. October. 85 p.

7. Global warming countermeasures 2008 revised edition. Japanese technologies for energy savings and GHG emissions reduction. New Energy and Industrial Technology Development Organization. 2008. P. 71–72.
8. Waste heat recovery. Technology and opportunities in U.S. industry. BCS Incorporated. 2008. March. P. 12–67.
9. Lin P.-H., Wang P.-H., Chen H.-T., Chung W.-L. Efficiency improvement of the hot blast generating system by waste heat recovery. *Energy and Sustainability*. WIT Press. Southampton, Boston. P. 113–121.
10. Shimamura T. Energy-saving technologies for blast furnaces of Nippon Steel and Sumikin Engineering. *The METEC and 2nd European Steel Technology and Application Days (ESTAD)*. 2015. URL: <http://www.metec-estad2015.com/papers2015final/P318.pdf>
11. Heat recovery from industrial processes. KÜTTNER. 2012. URL: <http://www.kuettner.com/Files/Filer/Downloads/en/E%20Kuettner%20Heat%20Recovery%20120511.pdf>
12. Баранюк О. В., Воробйов М. В., Рачинський А. Ю. CFD-моделювання процесів теплообміну і гідродинаміки засобами програмного комплексу. Київ. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Вид-во «Політехніка». 2023. 164 с.

Bibliography (transliterated)

1. Satyendra. Generation of hot air blast and hot blast stoves. *In Technical*. 2015. URL: <http://ispatguru.com/generation-of-hot-air-blast-and-hot-blast-stoves>
2. Hot blast stoves once in a lifetime. *Danieli Corus*. 2007. URL: <http://www.danieli-corus.com/media/Stoves.pdf>
3. Prokofyev B., Kalugina M., Murzin Y., Ivlev S., Subbotin A. Development of hot blast stove design without conventional combustion chamber (Kalugin design). *The METEC and 2nd European Steel Technology and Application Days (ESTAD)*. 2015. URL: <http://www.metec-estad2015.com/papers2015final/P24.pdf>
4. Geach M., Fletcher M., Brown G. Development of the ironmaking furnace hot blast system. *The METEC and 2nd European Steel Technology and Application Days (ESTAD)*. 2015. URL: <http://www.metec-estad2015.com/papers2015final/P252.pdf>
5. Vatanakul M., Cruz E., McKenna K., Hynes R., Sarvinis J., Swanepoel J. Waste heat utilization to increase energy efficiency in the metals industry. *Energize*. 2011. August. P. 72–76. URL: [http://www.ee.co.za/wp-content/uploads/legacy/Energize\\_2011\\_/09\\_01\\_set\\_waste-heat.pdf](http://www.ee.co.za/wp-content/uploads/legacy/Energize_2011_/09_01_set_waste-heat.pdf)
6. Worrell E., Blande P., Neelis M., Blomen E., Masanet E. Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for the U.S. iron and steel industry. *An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers*. 2010. October. 85 p.
7. Global warming countermeasures 2008 revised edition. Japanese technologies for energy savings and GHG emissions reduction. New Energy and Industrial Technology Development Organization. 2008. P. 71–72.
8. Waste heat recovery. Technology and opportunities in U.S. industry. BCS Incorporated. 2008. March. P. 12–67.

9. Lin P.-H., Wang P.-H., Chen H.-T., Chung W.-L. Efficiency improvement of the hot blast generating system by waste heat recovery. *Energy and Sustainability*. WIT Press. Southampton, Boston. P. 113–121.

10. Shimamura T. Energy-saving technologies for blast furnaces of Nippon Steel and Sumikin Engineering. *The METEC and 2nd European Steel Technology and Application Days (ESTAD)*. 2015. URL: <http://www.metec-estad2015.com/papers2015final/P318.pdf>

11. Heat recovery from industrial processes. KÜTTNER. 2012. URL: <http://www.kuettner.com/Files/Filer/Downloads/en/E%20Kuettner%20Heat%20Recovery%20120511.pdf>

12. Baraniuk O. V., Vorobiov M. V., Rachynskyi A. Yu. CFD-modeliuvannia protsiv teploobminu i hidrodynamiky zasobamy prohranno ho kompleksu. Kyiv. KPI im. Ihoria Sikorskoho. Vyd-vo «Politekhnik». 2023. 164 p.

УДК 62-681:669.97:669:045

В. В. Безкорвайний, аспірант, А. М. Ганжа, д-р техн. наук, професор,  
О. В. Кошельнік, канд. техн. наук, доцент, Н. А. Марченко, канд. техн. наук, доцент

### **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ РЕГЕНЕРАТИВНИХ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ CFD МЕТОДУ**

Розглянуто регенеративні повітрянагрівачі доменних печей, які призначені для високотемпературного нагріву великих обсягів дуттьового повітря за рахунок теплоти доменного газу. Вони являють собою споруди висотою до 60 м і діаметром до 9 м. Через періодичність роботи теплообмінників даного типу, для кожної доменної печі використовують декілька апаратів, об'єднаних у блок. Повітрянагрівач складається з камери горіння та насадкової камери. Насадка повітрянагрівача являє собою покладені один на одного блоки з каналами для проходження теплоносія. Насадка розташовується на піднасадковому пристрої, виконаному з жароміцного чавуну. Зовні повітрянагрівач закривається кожухом з низьколегованої сталі. В даний час на багатьох металургійних заводах застосовуються доменні повітрянагрівачі з внутрішньою камерою горіння, основною особливістю яких є розміщення в одному корпусі паралельно камери насадки та камери горіння. Також у даних повітрянагрівачах застосовується пальник за типом «труба в трубі», в яку подається доменний газ (або суміш доменного газу з природним/коксовим газом) та вентиляторне повітря горіння. Мета роботи: у результаті аналізу виконати оцінку ефективності камери горіння. Зроблений аналіз температурного поля всередині шахти та стінки кладки камери горіння на основі CFD моделювання для насадочного блоку з конічним каналом діаметром 30 мм. Виявлено, що снує значна нерівномірність фракції залишку горючих компонентів на вході в камеру насадки. Наявне неповне згоряння при використанні пальника типу «труба в трубі» та нерівномірність розподілу температур та швидкостей у вертикальному перерізі повітрянагрівача по осі штуцера

пальника типу «труба в трубі». Швидкості на виході зі штуцера пальника та протилежній пристінній області повітрянагрівача можуть доходити до 41–43 м/с.

**Ключові слова:** доменне виробництво, ефективність, паливо, горіння, пальник, повітрянагрівач, теплообмінник, насадка, конструкційний матеріал, металургійна промисловість, математичне моделювання, розподіл температур.

V. V. Bezkorovaynyi, A. M. Ganzha, O. V. Koshelnik, N. A. Marchenko

## MATHEMATICAL MODELING OF THE OPERATION OF REGENERATIVE AIR HEATERS IN METALLURGICAL PRODUCTION BASED ON THE CFD METHOD

Regenerative air heaters for blast furnaces are considered, which are designed for high-temperature heating of large volumes of blast air due to the heat of blast furnace gas. They are structures up to 60 m high and up to 9 m in diameter. Due to the periodicity of operation of heat exchangers of this type, several devices are used for each blast furnace, combined into a block. The air heater consists of a combustion chamber and a nozzle chamber. The nozzle of the air heater is a stacked block with channels for the passage of the coolant. The nozzle is located on a sub-nozzle device made of heat-resistant cast iron. The outside of the air heater is covered with a casing made of low-alloy steel. Currently, many metallurgical plants use blast furnace air heaters with an internal combustion chamber, the main feature of which is the placement of the nozzle chamber and the combustion chamber in one housing in parallel. Also, these air heaters use a “tube-in-tube” burner, into which blast furnace gas (or a mixture of blast furnace gas with natural/coke oven gas) and fan combustion air are supplied. Purpose of work: as a result of the analysis, to assess the efficiency of the combustion chamber. An analysis of the temperature field inside the shaft and the combustion chamber masonry wall was performed based on CFD modeling for a nozzle block with a conical channel with a diameter of 30 mm. It was found that there is a significant non-uniformity of the fraction of the remaining combustible components at the inlet to the nozzle chamber. There is incomplete combustion when using a “pipe-in-pipe” burner and non-uniformity of the distribution of temperatures and speeds in the vertical section of the air heater along the axis of the “pipe-in-pipe” burner nozzle. The speeds at the outlet from the burner nozzle and the opposite wall area of the air heater can reach 41–43 m/s.

**Keywords:** blast furnace production, efficiency, fuel, combustion, burner, air heater, heat exchanger, nozzle, structural material, metallurgical industry, mathematical modeling, temperature distribution.

Отримано редколегією 28.11.2025

*Безкоровайний Вадим Володимирович (Vadym Bezkorovainyi), аспірант Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, <https://orcid.org/0009-0008-2828-6625>;*

*Ганжа Антон Миколайович (Anton Ganzha), д-р техн. наук, професор, професор Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, <https://orcid.org/0000-0003-3967-2421>;*

*Кошельник Олександр Вадимович (Oleksandr Koshelnik), канд. техн. наук, доцент, доцент Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, <https://orcid.org/0000-0001-6521-4403>;*

*Марченко Наталія Андріївна (Natalia Marchenko), канд. техн. наук, доцент, заст. директора ННІ Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, <https://orcid.org/0000-0001-9889-3713>.*