Б.В. Корнілов, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: balesan2209@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5544-3023>

О.Л. Чайка, канд. техн. наук, ст. наук. співр., зав. лаб., e-mail: chaykadp@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1678-2580>

В.В. Лебідь, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: vitalii.lebid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3938-3785>

А.О. Москалина, канд. техн. наук, наук. співр., e-mail: moskalina.aa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9552-2853>

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (Дніпро, Україна)

Аналіз газодинамічної роботи колошникового простору та тракту «доменна піч – пиловловлювач» при зміні конструкції газоходів

У доменному виробництві України одним з найактуальніших питань є модернізація доменних печей, яка спрямована на забезпечення енергоефективної і ресурсозберігаючої роботи печей і агрегатів, що їх обслуговують, в умовах застосування пиловугільного палива (ПВП). Одним з проектних рішень, спрямованих на забезпечення високоефективної роботи доменної печі, було оснащення її сучасним безконусним завантажувальним пристроєм (БЗП). Однак його установка вимагала технічних рішень зі зміни конструкції колошника.

Для дослідження визначення впливу зміни умов газодинамічної роботи газоходів розглянуто роботу газовідвідних трактів доменної печі при різних газодинамічних умовах із застосуванням чисельного моделювання в середовищі Ansys Fluent і за інженерною методикою. Виконано зіставлення отриманих результатів газодинамічної роботи тракту відведення газу без врахування теплообміну, отриманих із застосуванням чисельного моделювання і за інженерною методикою. Встановлено, що відмінність між результатами, отриманими чисельним моделюванням і за інженерною методикою, не перевищує 7 %.

У роботі наведено результати аналізу взаємозв'язків між конструкцією колошника та параметрами потоку колошникового газу з газодинамічним режимом роботи доменної печі і тракту відведення «брудного» газу від печі до пиловловлювача. Виконано газодинамічний розрахунок та дано оцінку зміни конструкції врізки газоходів в купол печі з врахуванням необхідності установки на ній БЗП.

Реалізовано тепло-газодинамічний розрахунок та визначено вплив зміни газодинамічних параметрів газового потоку і площі перерізу газоходів на зміну втрат тиску, швидкості і перепаду температури доменного газу в тракті його відводу від печі до пиловловлювача.

Встановлено, що швидкість газу у вільній від шихти зоні колошника є визначальним параметром для втрат тиску не тільки колошникового простору, але й для газодинамічної роботи тракту «Доменна піч (ДП) – Пиловловлювач (ПВ)».

Ключові слова: доменна піч, колошник, газоходи, колошниковий газ, швидкість, втрати тиску.

Вступ. У доменному виробництві України одним з найактуальніших питань є модернізація доменних печей, яка спрямована на забезпечення енергоефективної і ресурсозберігаючої роботи печей та агрегатів, що їх обслуговують, в умовах застосування пиловугільного палива (ПВП).

Одним з проектних рішень, спрямованих на забезпечення високоефективної роботи доменної печі (ДП), об'ємом 1800 м³, було оснащення її сучасним безконусним завантажувальним пристроєм (БЗП). Його установка потребує технічних рішень зі зміни конструкції колошника.

Оскільки в літературі практично відсутня інформація про вплив конструкції колошника та перерізу газоходів в куполі печі на газодинамічну роботу доменної печі і систему газоочистки, то важливим і актуальним завданням є визначення впливу зміни геометрії колошника на газодинамічний режим в системі доменна піч – система газоочистки [1–9].

В роботі виконано аналіз взаємозв'язків між конструкцією колошника і параметрами потоку колошникового газу з газодинамічним режимом роботи доменної печі і тракту відведення колошникового газу від доменної печі до пиловловлювача.

Рис. 1. Схематичний вигляд (а, б) та переріз врізки (в, г) газоходів в купол доменної печі: а, в – врізка газоходів в купол печі з розширювальною частиною; б, г – врізка газоходів в купол печі без розширювальної частини

Дослідження газодинаміки колошника при зміні врізки газоходів. Спочатку в конструкції газоходів в районі врізки в купол печі було еліптичне розширення – патрубок (рис. 1, а, в) [10].

В умовах установки на доменну піч БЗП з монтажним люком знадобилася зміна врізки газоходів в купол доменної печі – безпосередньо, без розширювальної частини зі збереженням діаметра і кута нахилу газоходів (рис. 1, б, г).

Для визначення впливу зміни конструкції врізки газоходів в купол доменної печі, роботу верху печі і систему «доменна піч – система газоочистки» виконано газодинамічний розрахунок зміни втрат тиску з метою оцінки впливу геометрії на зміну втрат тиску на колошнику стосовно проєктних (очікуваних) характеристик колошникового газу (рис. 2):

- витрати $F = 342$ тис. $\text{м}^3/\text{год}$;
- тиск $P = 1,4\text{--}2,0$ атн;
- температура $T = 200\text{--}400$ °С.

Встановлено, що зміна конструкції врізки газоходів з конічної на циліндричну надасть мінімальний вплив на втрати тиску і швидкісного напору в печі в порівнянні з впливом на втрати тиску характеристик колошникового газу (рис. 2–3):

1. При збереженні сумарної площі газоходів та зміні переходу між колошником і газоходами (з розтрубного звуження газоходів на циліндричні газоходи) втрати тиску в колошниковому просторі збільшаться на 140–280 Па залежно від параметрів газового потоку, що становить 5–7 % від загальних втрат тиску газового потоку на колошнику.

2. Збільшення тиску на колошнику на кожен 0,1 атн дозволить зменшити втрати тиску під колошником на 3–4 %.

Рис. 2. Втрата тиску у вільній від шихти зоні колошника залежно від температури колошникового газу при різному тиску на колошник (— — 1,4 атн; - - - 1,7 атн; ···· 2,0 атн). На рисунку: суцільні лінії – нова конструкція врізки (циліндрична); пунктирні лінії – стара конструкція врізки (з конічним розтрубом)

Рис. 3. Втрата тиску у вільній від шихти зоні колошника залежно від температури колошникового газу при різній витраті колошникового газу (— — 342 тис. $\text{м}^3/\text{год}$ (проєктна витрата газу); - - - 390 тис. $\text{м}^3/\text{год}$; ···· 290 тис. $\text{м}^3/\text{год}$). На рисунку: суцільні лінії – нова конструкція врізки (циліндрична); пунктирні лінії – стара конструкція врізки (з конічним розтрубом)

3. Зменшення температури колошникового газу на кожні 10 °С дозволить зменшити втрати тиску на колошнику на 5–7 %.

4. Збільшення об'ємної витрати колошникового газу на кожні 10 % може призводити до збільшення втрат тиску на колошнику на 14–18 %.

Таким чином, встановлено, що зміна конструкції врізки газоходів в купол колошника ДП надасть несуттєвий вплив на втрати тиску на колошнику.

Істотний вплив на збільшення втрат тиску надає збільшення об'ємної витрати колошникових газів. Зменшенню об'ємної витрати колошникових газів і, як наслідок, зменшенню втрат тиску, при збереженні її масової витрати газів, сприятиме збільшення тиску під колошником і зменшення температури колошникових газів.

Необхідною умовою для збільшення тиску під колошником є модернізація (збільшення потужності) повітрорудних машин. Зменшити температуру колошникового газу дозволяє застосування холодного агломерату.

Дослідження газодинамічних параметрів колошникового газу в тракті «Доменна піч – Пилловловлювач». Реконструкція доменної печі зі збільшенням її об'єму та продуктивності призведе до збільшення виходу колошникового газу. Тому визначення впливу зміни газодинамічних параметрів газового потоку та площі перерізу газоходів на зміну втрат

Рис. 4. Загальний вигляд тракту «брудного» газу (доменна піч – пилотовловлювач)

Рис. 5. Розподіл статичного тиску (а, в атм) та швидкості газу в 2 проєкціях (б, в, в м/с) по тракту «доменна піч – пилотовловлювач»

Рис. 6. Зміна швидкості, втрати тиску і температури «брудного» газу в тракту «доменна піч – пилотовловлювач» залежно від тиску колошника при витраті газу 342 тис. м³/год і його температурі 200 °С. На рисунку: сіра заливка – область злиття потоків (трійник)

Рис. 7. Зміна швидкості, втрат тиску і температури «брудного» газу в тракті «доменна піч – пиловловлювач» залежно від температури газу при його витраті 342 тис. м³/год і тиску колошника 1,6 атн. На рисунку: сіра заливка – область злиття потоків (трійник)

тиску, швидкості і перепаду температури доменного газу в тракті його відводу від печі до пиловловлювача є необхідною умовою для оцінки можливості збереження колишньої конструкції тракту відведення колошниковою газу.

Відведення доменного газу здійснюється через чотири газоходи, що розташовані симетрично осі доменної печі, які об'єднуються в один тракт до входу в пиловловлювач за допомогою так званих трійників, в яких відбувається злиття газових потоків (рис. 4). Металевий кожух тракту всередині футерований вогнетривкою цеглою.

Для визначення впливу зміни умов газодинамічної роботи газоходів розглянуто роботу газовідвідних трактів доменної печі при різних газодинамічних умовах із застосуванням чисельного моделювання в середовищі Ansys Fluent і за інженерною методикою.

Розрахунок виконувався для наступних параметрів колошниковою газу і конструкційних особливостей тракту:

1. Витрата колошниковою газу – від 270 до 342 тис. м³/год.
2. Температура колошниковою газу – від 200 до 400 °С.
3. Тиск колошниковою газу – від 1,4 до 2,0 атн.

Рис. 8. Зміна швидкості, втрати тиску і температури «брудного» газу в тракті «доменна піч – пиловловлювач» залежно від витрати газу при його температурі 200 °С і тиску колошника 1,6 атн. На рисунку: сіра заливка – область злиття потоків (трійник)

4. Діаметри трубопроводів відповідно до проекту та варіанти зі збільшенням трубопроводів на 15 і 30 %.

Результати газодинамічного розрахунку течії у відвідному тракті печі, що виконані чисельним моделюванням в середовищі Ansys Fluent, представлені за наступних умов: тиск колошниковою газу – 1,4 атн, температура – 200 °С і його витрата – 342 тис. м³/год на рис. 5 у вигляді розподілення абсолютної величини тиску та швидкості по довжині тракту.

Перевагою використання інженерних методик в порівнянні з чисельним моделюванням для газодинамічних розрахунків є той фактор, що якісно виконаний інженерний розрахунок дозволяє з досить великою точністю оцінити зміну газодинамічних параметрів та, при цьому, не вимагає значних витрат часу і обчислювальних потужностей, як при CFD-розрахунках.

Для визначення впливу зміни умов газодинамічної роботи газоходів виконано газодинамічний розрахунок зміни втрат тиску та швидкості газу на тракті «доменна піч – пиловловлювач» [11–14]. Для врахування перепаду температури, що виникає по довжині тракту між доменною піччю та пиловловлювачем, газодинамічний розрахунок був доповнений розрахунком теплообміну з навколишнім середовищем [15, 16].

Рис. 9. Зміна швидкості, втрат тиску і температури «брудного» газу в тракті «доменна піч – пиловловлювач» залежно від площі перерізу газоходів при витраті газу 432 тис. м³/год, його температурі 200 °C і тиску колошника 1,6 атн. На рисунку: сіра заливка – область злиття потоків (трійник)

Результати розрахунків газодинамічних параметрів за інженерною методикою на зміну втрат тиску, швидкість та перепад температури доменного газу в тракті «доменна піч – пиловловлювач» наведено на рис. 6–8, а вплив зміни площі перерізу газоходів – на рис. 9.

В результаті виконаного аналізу узагальнено результати впливу зміни газодинамічних параметрів газового потоку та площі перерізу газоходів на зміну втрат тиску, швидкості і перепад температури доменного газу в тракті «доменна піч – пиловловлювач».

Виконано зіставлення отриманих результатів газодинамічної роботи тракту відведення газу без врахування теплообміну, отриманих із застосуванням чисельного моделювання і за інженерною методикою. Встановлено, що відмінність між результатами, отриманими чисельним моделюванням і за інженерною методикою, не перевищує 7 % (табл. 1).

Узагальнення результатів газодинамічної роботи з урахуванням теплообміну з навколишнім середовищем дозволило встановити, що при варіюванні газодинамічних параметрів газу в межах проєктних показників для існуючої конструкції та з урахуванням зміни конструкції тракту можна очікувати при вході в пиловловлювач (табл. 2–3):

- швидкість газу – від 8 до 15 м/с;
- втрати тиску в тракті – від 150 до 370 Па;
- зменшення температури по довжині тракту – від 20 до 40 °C.

Встановлено, що найбільш сильний вплив на збільшення втрат тиску по тракту «брудного» газу надають області злиття потоків (трійники), зазначені на рис. 6–9, що пов'язано з виникненням застійних областей при злитті потоків (рис. 6–9). У цих зонах також істотно збільшується швидкість газу внаслідок зменшення сумарної площі перерізу газоходів.

Виконано аналіз та узагальнено результати щодо впливу газодинамічних параметрів і збільшення площі перерізу газоходів на газодинамічну роботу в тракті «брудного» газу. Встановлено, що:

1. Збільшення температури колошникового газу на кожні 10 °C призведе до збільшення швидкості газу при вході в пиловловлювач на 1,5–2 %, збільшення втрат тиску в тракті на 1,9–2,3 %, збільшення перепаду температури між доменною піччю і пиловловлювачем на 1 °C.

2. Збільшення тиску під колошником на кожен 0,1 атн дозволить зменшити швидкість газу при вході в пиловловлювач на 3,3–3,8 %, зменшити втрати тиску в тракті на 3,1–3,7 %, практично не вплине на зміну перепаду температури між доменною піччю і пиловловлювачем.

3. Збільшення об'ємної витрати колошникового газу на кожні 10 % може призводити до збільшення швидкості газу при вході в пиловловлювач на 8–10 %, збільшення втрат тиску в тракті на 1,9–2,3 %, збільшення перепаду температури між доменною піччю і пиловловлювачем на 1 °C.

Таблиця 1

Результати газодинамічного розрахунку тракту «брудного» газу (ділянка доменна піч – пиловловлювач) без урахування теплообміну з навколишнім середовищем

№ п/п	Вихідні дані			Результати розрахунку		
	витрата газу, тис. м ³ /год	тиск на колошнику, атн	температура газу, °C	втрати тиску із застосуванням чисельного моделювання, Па	втрати тиску за інженерною методикою, Па	швидкість при вході до ПВ, м/с
1	342	1,4	200	430	420	16,5
2	342	1,4	400	530	495	19,0
3	342	1,8	200	290	300	12,0
4	342	1,8	400	380	365	14,1

Таблиця 2

Результати газодинамічного розрахунку тракту «брудного» газу (ділянка доменна піч – пиловловлювач) з урахуванням теплообміну з навколишнім середовищем

№ п/п	Вихідні дані			Результати розрахунку		
	витрата газу, тис. м³/год	тиск на колошнику, атн	температура газу, °С	втрати тиску за інженерною методикою, Па	швидкість при вході до ПВ, м/с	перепад температури між ДП та ПВ, °С
1	342	1,4	200	280	11,1	20,5
2		1,6		260	10,2	19,5
3		1,8		240	9,5	19,0
4		2,0		225	8,9	18,5
5	342	1,6	200	260	10,2	19,5
6			300	320	12,3	28,0
7			400	380	14,3	38,5
8	275	1,6	200	170	8,2	22,0
9	310			220	9,7	20,5
10	342			260	10,2	19,5

Таблиця 3

Результати газодинамічного розрахунку тракту «брудного» газу (ділянка доменна піч – пиловловлювач) при зміні геометрії газоходів з урахуванням теплообміну з навколишнім середовищем для проєктних параметрів роботи ($F = 342$ тис. м³/год, $p = 1,8$ атн, $T = 200$ °С)

№ п/п	Зміна площі розрізу відносно проєктного, %	Результати розрахунку		
		втрати тиску за інженерною методикою, Па	швидкість при вході до ПВ, м/с	перепад температури між ДП та ПВ, °С
1	0 % (Проєктна)	260	10,2	19,5
2	+15 %	205	9,4	20,0
3	+30 %	180	8,6	20,5

Рис. 10. Взаємозв'язок між швидкістю колошникового газу під колошником та газодинамічними параметрами роботи тракту «Доменна піч – Пиловловлювач»

збільшення втрат тиску в тракті на 14–17 %, зменшення перепаду температури між доменною піччю і пиловловлювачем на 0,7–1,1 °С.

4. Збільшення площі перерізу на 10 % дозволить зменшити швидкість газу при вході в пиловловлювач на 5–7 % і зменшити втрати тиску в тракті на 12–14 %, практично не вплине на зміну перепаду температури між доменною піччю і пиловловлювачем.

Таким чином, встановлено, що збільшення перерізу газоходів тракту «доменна піч – пиловловлювач» на 15–30 % (що еквівалентно збільшенню діаметрів газоходів на 7–14 % і відношенню площі колошника

до сумарної площі газовідводів $\alpha = 3,9/3,45$) дозволить зменшити швидкість при вході в пиловловлювач на 8–16 % та втрати тиску в тракті – на 20–36 %.

Виконано аналіз взаємозв'язку швидкості колошникової газу у вільній від шихти зоні колошника зі швидкостями газу при вході в пиловловлювач і втрат тиску в тракті «брудного» газу при різних газодинамічних умовах – витрата газу в межах 270–342 тис. м³/год, його температура – 200–400 °С, тиск під колошником – 1,2–2,0 атн (рис. 10).

На підставі виконаного аналізу встановлено, що швидкість газу у вільній від шихти зоні колошника є визначальним параметром для втрат тиску не тільки верху печі, але і для газодинамічної роботи тракту «Доменна піч – Пиловловлювач».

Висновки

1. Швидкість газу у вільній від шихти зоні колошника є визначальним параметром для втрат тиску не тільки верху печі, але й для газодинамічної роботи тракту «Доменна піч – Пиловловлювач».

2. Виконано газодинамічний розрахунок та дано оцінку зміни конструкції врізки газовідводів в купол печі з врахуванням необхідності установки на ній БЗП. Реалізовано тепло-газодинамічний розрахунок та визначено вплив зміни газодинамічних параметрів газового потоку і площі перерізу газоходів на зміну втрат тиску, швидкості і перепаду температури доменного газу в тракті його відводу від печі до пиловловлювача.

3. Стосовно до газодинамічної роботи колошникової зони при зміні врізки газоходів встановлено, що:

– збільшення тиску під колошником на кожен 0,1 атн дозволить зменшити втрати тиску під колошником на 3–4 %;

– зменшення температури колошникової газу на кожні 10 °С дозволить зменшити втрати тиску під колошником на 5–7 %.

– збільшення об'ємної витрати колошникової газу на кожні 10 % може призводити до збільшення втрат тиску на 14–18 %.

4. Стосовно до газодинамічної роботи тракту «брудного» газу встановлено, що:

– збільшення температури колошникової газу на кожні 10 °С призведе до збільшення швидкості газу при вході в пиловловлювач на 1,5–2 % і втрат тиску в тракті на 1,9–2,3 %;

– збільшення тиску під колошником на кожен 0,1 атн дозволить зменшити швидкість газу при вході в пиловловлювач на 3,3–3,8 % і втрати тиску в тракті на 3,1–3,7 %;

– збільшення об'ємної витрати колошникової газу на кожні 10 % може призводити до збільшення швидкості газу при вході в пиловловлювач на 8–10 % і втрат тиску в тракті на 14–17 %;

– збільшення площі перерізу газоходів на 10 % дозволить зменшити швидкість газу при вході в пиловловлювач на 5–7 % і втрати тиску в тракті на 12–14 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Большаков В.И., Сохацкий А.А., Чайка А.Л., Шевелев А.Г., Швачка А.И. Исследования тепло-газодинамической работы в «сухой» зоне доменной печи и применение их результатов. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2013. № 2. С. 15–19.
2. Корнилов Б.В., Лычагин Н.Н., Сохацкий А.А., Чайка А.Л., Шевелев А.Г. Исследование газодинамической работы колошника с использованием методов численного моделирования. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2011. Вып. 23. С. 89–96.
3. Корнилов Б.В., Лычагин Н.Н., Чайка А.Л. Исследование газодинамической работы колошника. *Теория и практика тепловых процессов в металлургии: Сб. докл. междунар. научно-практ. конф. 18–21 сент. 2012 г. Екатеринбург: УрФУ*, 2012. С. 99–107.
4. Бородулин А.В., Чайка А.Л., Сохацкий А.А., Корнилов Б.В., Швачка А.И. Вопросы системной надежности доменного производства. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2012. Вып. 25. С. 51–68.
5. Большаков В.И., Чайка А.Л., Лебедь В.В., Сохацкий А.А., Цюпа К.С., Корнилов Б.В. Системная надежность доменного производства с использованием пылеугольного топлива. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2015. № 7. С. 22–30.
6. Корнилов Б.В., Чайка А.Л., Сохацкий А.А., Шостак В.Ю. Исследование влияния параметров колошниковой газы и конструкции колошника на вынос колошниковой пыли. *Экология и промышленность*. 2014. № 2. С. 54–58.
7. Бузовера М.Т., Ульянов А.Г., Шулико С.Т., Почекайло И.Е., Тарановский В.В., Хомич И.Т. Работа доменной печи с рациональным газодинамическим режимом в шахте. *Черная металлургия*. 1985. № 12. С. 47–48.
8. Большаков В.И., Чайка А.Л., Корнилов Б.В., Лебедь В.В., Логвинов Н.В., Пинчук Д.В. Исследование газодинамической работы свободной от шихты области колошника и их практическое приложение для оценки устойчивости протекания газодинамических процессов в ней. *Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды: сб. трудов III Межотраслевой науч.-практ. конференции молодых ученых и специалистов. Харьков, 25–26 марта 2015 г.* С. 73–80.
9. Чайка А.Л., Лебедь В.В., Корнилов Б.В., Логвинов Н.В., Сохацкий А.А. Исследование газодинамической работы свободной от шихты зоны колошника доменной печи и их практическое приложение. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2015. Вып. 29. С. 27–35.

10. Новоспасский А.Ф. Современная доменная печь. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1950. 394 с.
11. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
12. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1970. 904 с.
13. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1969. 824 с.
14. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости). 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1975. 327 с.
15. Беляев Н.М. Основы теплопередачи: учеб. для студ. Вузов. К.: Вища школа, 1989. 344 с.
16. Себиси Т., Бредшоу П. Конвективный теплообмен. Физические основы и вычислительные методы: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 592 с.

Надійшла 10.02.2021

REFERENCES

1. Bol'shakov, V.I., Sokhatskiy, A.A., Chaika, A.L., Shevelev, A.G., Shvachka, A.I. (2013). Investigations of heat and gas dynamic work in the "dry" zone of a blast furnace and the application of their results. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. Metallurgical and mining industry*, no. 2, pp. 15–19 [in Russian].
2. Kornilov, B.V., Lychagin, N.N., Sokhatskiy, A.A., Chaika, A.L., Shevelev, A.G. (2011). Study of the gas-dynamic operation of the top with the use of numerical modeling methods. *Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoy metallurgii. Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, iss. 23, pp. 89–96 [in Russian].
3. Kornilov, B.V., Lychagin, N.N., Chaika, A.L. (2012). Study of the gas-dynamic operation of the top. *Teoriya i praktika teplovykh protsessov v metallurgii: Sb. dokl. mezhdunar. nauchno-prakt. konf. Ekaterinburg: UrFU*, pp. 99–107 [in Russian].
4. Borodulin, A.V., Chaika, A.L., Sokhatskiy, A.A., Kornilov, B.V., Shvachka, A.I. (2012). Blast furnace system reliability issues. *Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoy metallurgii. Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, iss. 25, pp. 51–68 [in Russian].
5. Bol'shakov, V.I., Chaika, A.L., Lebed', V.V., Sokhatskiy, A.A., Tsiupa, K.S., Kornilov, B.V. (2015). System reliability of blast furnace production using pulverized coal. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. Metallurgical and mining industry*, no. 7, pp. 22–30 [in Russian].
6. Kornilov, B.V., Chaika, A.L., Sokhatskiy, A.A., Shostak, V.Yu. (2014). Study of the influence of the parameters of the top gas and the structure of the top on the removal of the top dust. *Ekologiya i promyshlennost'. Ecology and industry*, no. 2, pp. 54–58 [in Russian].
7. Buzoverya, M.T., Ul'yanov, A.G., Shuliko, S.T., Pochekailo, I.E., Taranovskiy, V.V., Khomich, I.T. (1985). Blast furnace operation with rational gas-dynamic regime in the mine. *Chernaya metallurgiya. Ferrous metallurgy*, no. 12, pp. 47–48 [in Russian].
8. Bol'shakov, V.I., Chaika, A.L., Kornilov, B.V., Lebed', V.V., Logvinov, N.V., Pinchuk, D.V. (2015). Study of the gas-dynamic operation of the charge-free area of the top and their practical application to assess the stability of the flow of gas-dynamic processes in it. *Innovatsionnye puti modernizatsii bazovykh otrasley promyshlennosti, energo- i resursosberezhenie, okhrana okruzhaiushchey prirodnoy sredy: sb. trudov III Mezhotraslevoy nauch-prakt. konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov. Innovative ways to modernize basic industries, energy and resource conservation, environmental protection: Collection of works of the III Interdisciplinary scientific and practical conference of young scientists and specialists. Khar'kov 25–26 marta 2015 g.*, pp. 73–80 [in Russian].
9. Chaika, A.L., Lebed', V.V., Kornilov, B.V., Logvinov, N.V., Sokhatskiy, A.A. (2015). Study of the gas-dynamic operation of the charge-free zone of the blast furnace top and their practical application. *Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoy metallurgii. Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, iss. 29, pp. 27–35 [in Russian].
10. Novospasskiy, A.F. (1950). Modern blast furnace. Moscow: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo literatury po chernoy i tsvetnoy metallurgii, 394 p. [in Russian].
11. Idel'chik, I.E. (1992). Hydraulic resistance guide. Ed. by M.O. Shteynberg, 3rd edition, reworked and revised. Moscow: Mashinostroenie, 672 p. [in Russian].
12. Loytsyanskiy, L.G. (1970). Fluid and gas mechanics. 3rd edition, reworked and revised. Moscow: Nauka, 904 p. [in Russian].
13. Abramovich, G.N. (1969). Applied gas dynamics. Moscow: Nauka, 824 p. [in Russian].
14. Al'tshul', A.D., Kiselev, P.G. (1975). Hydraulics and aerodynamics (Fundamentals of fluid mechanics). 2nd edition, reworked and revised. Moscow: Stroyizdat, 327 p. [in Russian].
15. Belyaev, N.M. (1989). Heat transfer basics: textbook for universities. Kyiv: Vyshcha shkola, 344 p. [in Russian].
16. Sebisi, T., Bredshou, P. (1987). Convective heat exchange. Physical bases and computational methods: transl. from English. Moscow: Mir 592 p. [in Russian].

Received 10.02.2021

Summary

B.V. Kornilov, PhD (Engin.), Senior Researcher,
e-mail: balesan2209@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5544-3023>
O.L. Chaika, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, Head of the Laboratory,
e-mail: chaykadp@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1678-2580>
V.V. Lebid, PhD (Engin.), Senior Researcher, e-mail: vitalii.lebid@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-3938-3785>
A.O. Moskalyna, PhD (Engin.), Researcher, e-mail: moskalina.aa@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-9552-2853>

Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

Analysis of the gas-dynamic operation of the furnace space and the path "blast furnace – dust collector" when changing the design of the flues

In the blast furnace production of Ukraine, one of the most pressing issues is the modernization of blast furnaces, aimed at ensuring energy-efficient and resource-saving operation of furnaces and units servicing them, in terms of pulverized coal injection (PCI). One of the design solutions aimed at ensuring highly efficient operation of the blast furnace was to equip it with a modern coneless loading device. However, its installation required technical solutions to change the design of the grate.

To study the impact of changes in the conditions of gas-dynamic operation of flues, the operation of the exhaust ducts of the blast furnace under different gas-dynamic conditions with the use of numerical simulation in the Ansys Fluent environment and with engineering techniques is considered. The obtained results of gas-dynamic operation of the gas removal path without heat exchange, obtained with the use of numerical modeling and with engineering methods, are compared. It is established that the difference between the results obtained by numerical simulations and engineering methods does not exceed 7 %.

The paper presents the results of the analysis of the relationships between the design of the furnace and the parameters of the furnace gas flow with the gas-dynamic mode of operation of the blast furnace and the path of "dirty" gas from the furnace to the dust collector. The gas-dynamic calculation is made and the estimation of change of a design of insertion of flues in a furnace dome taking into account necessity of installation on it coneless loading device is given.

The heat-gas-dynamic calculation is realized and the influence of change of gas-dynamic parameters of gas flow and cross-sectional area of flues on change of pressure losses, speed and temperature difference of blast furnace gas in its path from furnace to dust collector is determined.

It is established that the gas velocity in the charge-free zone of the furnace is a determining parameter for pressure losses not only in the furnace space, but also for the gas-dynamic operation of the Blast Furnace – Dust Collector tract.

Keywords

Blast furnace, furnace, flues, furnace gas, speed, pressure losses.