ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol. 29, 2021, № 4 (327), xx-xx

<https://doi.org/10.15407/steelcast2019.10.064>

УДК 622.7.003.13:669.1.013.5(477)

Ю.С. Семенов, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ст. наук. співр., e-mail: yuriy.semenov.isi@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-2299-5742>

О.С. Вергун, д-р техн. наук, ст. наук. співр., ст. наук. співр., e-mail: ovoch-isi@outlook.com,
<https://orcid.org/0000-0001-5493-9214>

О.С. Нестеров, канд. техн. наук, ст. наук. співр., зав. відділу, e-mail: asn.dnepr@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0183-0327>

В.Г. Кисляков, канд. техн. наук, зав. відділу, e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0002-1775-5050>

В.В. Горупаха, наук. співр., e-mail: gorupaha.viktor@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0531-1871>

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

Шляхи поліпшення ефективності аглодоменного виробництва в сировинних та енергетичних умовах роботи металургійних підприємств України

Статтю присвячено визначенню впливу деяких видів вторинних ресурсів на якість агломерату, його хімічний склад і властивості, а також на перебіг доменного процесу при використанні такого агломерату, у тому числі у комплексі з застосуванням пилувугільного палива (ПВП).

Представлено результати виконаних розрахунково-аналітичних, лабораторних й промислових досліджень впливу складу аглошихти на особливості технології виробництва агломерату, а також при використанні такого агломерату в комплексі із застосуванням ПВП на результати технології й параметри переробного чавуну.

Експериментально досліджено вплив введення вторинних матеріалів в агломераційну шихту на показники дослідних спікань агломерату на прикладі введення використання шламів і дрібнодисперсного пилу.

Показано, що введення до складу агломераційної шихти вторинних ресурсів дозволить знизити собівартість агломерату, але значне збільшення їх вмісту може призвести до погіршення деяких характеристик готового агломерату, а також збільшення витрат коксу при виплавці чавуну, також підтверджено, що раціональним є вміст в аглошихті вторинних ресурсів на рівні 70 кг/т агломерату.

Вивчено вплив співвідношення витрат паливних домішок для варіантів технології виплавки чавуну при оптимальній витраті вторинних ресурсів 70 кг/т агломерату в різних співвідношеннях паливних добавок. Досліджено вплив умов проведення доменної плавки на деякі її показники.

Проведені балансові розрахунки показали, що при частковій заміні ПВП природним газом у кількості 35 м³/т чавуну витрати коксу зменшилися на 35 кг/т чавуну, що призвело до зниження вартості чавуну на 2,1 %.

Показано, що застосування і розвиток коксозамінних технологій і заходів, обґрунтований експертний вибір шихтових параметрів аглодоменного виробництва, модернізація обладнання, дозволяє підтримувати стійкий тепловий та газодинамічний режим роботи доменних печей, що характеризується стабільністю температури чавуну і його хімічного складу.

Ключові слова: агломерат, вторинні ресурси, доменна піч, витрати.

Металопродукція українських підприємств має низьку конкурентоспроможність, що обумовлено її високою собівартістю через великі витрати на сировину та енергоресурси. Найбільш ресурсо-енергоємним етапом на всьому технологічно-

му маршруті «аглодоменне виробництво-підготовка чавуну-конвертерне виробництво-позапічна обробка сталі» – є «аглодоменне виробництво», що змушує спеціалістів-доменників виконувати пошук шляхів зниження виробничих затрат насамперед на цьому

етапі виробництва [1]. Зменшення виробничих витрат на етапі «аглодоменне виробництво», одного з етапів наскрізної технології виробництва конкурентоспроможної металопродукції, дозволяє знизити в кінцевому підсумку собівартість готового металопрокату. Зменшення витрат на енергоресурси може бути здійснено за рахунок заміни частини коксу і природного газу пиловугільним паливом [1–3].

Мета роботи – визначення впливу деяких видів вторинних ресурсів на якість агломерату, його хімічний склад і властивості, а також на перебіг доменного процесу при використанні такого агломерату, у тому числі у комплексі з застосуванням пиловугільного палива (ПВП).

Зміст. Введення до складу агломераційної шихти вторинних ресурсів дозволяє знизити собівартість агломерату, але значне збільшення їх тягне за собою зменшення міцносних характеристик і зниження продуктивності аглофабрики. Вторинні ресурси можна умовно розділити на дві категорії: вторинна сировина, яка при мінімальних витратах (до 40 кг/т) практично не впливає на процес, і сировина, яка різко погіршує якість агломерату при малих дозах. До перших можна віднести шлами, які утворюються в аглодоменному виробництві, до других – дрібнодисперсний пил, вловлений електрофільтрами.

В статті представлено результати виконаних розрахунково-аналітичних, лабораторних й промислових досліджень впливу складу аглошихти на особливості технології виробництва агломерату, а також при використанні такого агломерату в комплексі із застосуванням ПВП на результати технології й параметри переробного чавуну. Введення до складу агломераційної шихти вторинних ресурсів дозволяє знизити собівар-

тість агломерату, але значне збільшення їх спричиняє зменшення міцносних характеристик і зниження продуктивності аглофабрики [4, 5]. Експериментально досліджено вплив введення вторинних матеріалів в агломераційну шихту на показники дослідних спікань агломерату (табл. 1) на прикладі введення використання шламів і дрібнодисперсного пилу [6, 7].

Як видно з табл. 1, використання шламів аглодоменного виробництва більшою мірою впливає на продуктивність агломашин, меншою – на вихід придатного й холодну міцність. Використання в шихті дрібнодисперсного пилу електрофільтрів у кількості ~20,5 кг/т агломерату призводить до значного зменшення продуктивності і міцносних характеристик. При цьому введення в шихту підготовленої суміші шламів є пріоритетним, у порівнянні з введенням непідготовленого пилу (при введенні пилошламової суміші продуктивність зменшується до 88,36 % у порівнянні з 83,61 %, а кількість відсівання збільшується на 2,74 %, у порівнянні з 5,52 % при введенні непідготовленого пилу).

Введення до складу агломераційної шихти вторинних ресурсів дозволить знизити собівартість агломерату, але значне збільшення їх вмісту може призвести до погіршення деяких характеристик готового агломерату, а також збільшення витрат коксу при виплавці чавуну (рисунок, табл. 2). Дані рисунку підтверджують те, що раціональним є вміст в аглошихті вторинних ресурсів на рівні 70 кг/т агломерату.

Введення в аглошихту (варіант 1) значної кількості вторинних ресурсів (до 230 кг/т) істотно зменшує показник якості агломерату (до 7,2), незважаючи на достатню кількість заліза в ньому (53 %) призводить до істотного збільшення витрат коксу при виплавці чавуну (до 380 кг/т чавуну), підвищує вміст в агломе-

Таблиця 1

Основні результати спікання дослідного агломерату з введенням вторинних ресурсів

Шихта дослідного спікання	База	Уведення шламів	Уведення шламів з пилом	Уведення пилу
Маса пирога, кг	18,4	17,7	17,6	17,8
Вихід придатного, кг (+10)	16,1	15,45	14,9	14,95
Вихід придатного, %	87,5	87,3	84,7	84,0
Відсівання аглом. (-10), кг	2,3	2,25	2,7	2,85
Міцність, (+5), кг	12,1	11,6	10,9	10,8
Вихід придатного після барабану, %	75,2	75,1	73,2	71,9
Стирання, (-0,5), кг	1,05	0,98	0,99	1,27
Стирання, (-0,5), %	6,5	6,3	6,6	8,5
Продуктивність, т/м ² ·ч	1,71	1,66	1,56	1,49
Продуктивність із урахуванням виходу придатного, т/м ² ·ч	1,49	1,45	1,32	1,25
Зміна продуктивності, %	100,00	97,25	88,36	83,61
Збільшення кількості відсівання, %	100,00	100,10	102,74	104,52

Таблиця 2

Деякі параметри та характеристики агломерату, що виробляється з використанням вторинних ресурсів (ВР), а також параметрів доменної плавки та якості чавуну

Варіанти технології	1	2	3	4	5
Варіанти ВР, кг/т	232	72	30	30	72
Вміст $Fe_{\text{заг.}}$ в агломераті, %	52,14	55,05	56,43	59,2	57,81
Вміст в агломераті P_2O_5 , %	0,085	0,053	0,034	0,032	0,041
Показники якості агломерату, бал	7,2	9,7	10,1	14,4	13,22
Витрати коксу на виплавку чавуну, кг/т	380	367	362	352	357
Виробництво доменних печей, % відн.	100	103	104	107,2	105,8
Вміст Р в чавуні, %	0,11	0,053	0,038	0,034	0,041

Вплив вмісту ВР в аглошихті на деякі властивості агломерату та деякі параметри доменної плавки

Таблиця 3

Результати розрахунків деяких показників і параметрів доменної плавки в різних сировинних і енергетичних умовах одного з металургійних підприємств України

Параметр	ПВП=152	ПВП=130 ПГ=30	ПВП=152 і - 1 % O ₂	ПВП=152 і - 2 % O ₂	ПВП=152 і - 3 % O ₂	O ₂ =21 ТТ=2000
Витрати, кг/т						
Кокс	433,538	418,739	431,488	429,388	426,945	483,974
Флюс	3,549	1,586	3,278	2993	2,677	5,955
Паливні добавки в еквіваленті ПВП:						
Витрата ПВП + ПГ, кг/т	151,994	151,935	151,997	151,911	152,001	101,142
З яких ПГ, м ³ /т	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Витрата технологічного кисню, м ³ /т	85,186	84,296	67,822	49,269	29,399	0,000
Матеріальний баланс, т/т чавуну:						
Прихід: шихта	2,228	2,211	2,226	2,223	2,221	2,280
Дуття	1,574	1,558	1,624	1,677	1,734	1,848
Паливо	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,101
Загальний прихід	3,954	3,921	4,001	4,052	4,107	4,229
Загальна витрата	3,953	3,922	4,001	4,051	4,106	4,229

раті P₂O₅ до 0,085 % і, відповідно, фосфору в чавуні до 0,11 %. При цьому продуктивність доменних печей може знижуватися на 3–7 % у порівнянні з іншими варіантами витрат вторинних ресурсів.

Надалі на прикладі роботи доменного цеху одного з металургійних підприємств України було вивчено вплив співвідношення витрат паливних домішок (коксу, природного газу, пиловугільного палива) для варіантів технології виплавки чавуну за варіантами 2–4 при оптимальній витраті вторинних ресурсів 70 кг/т агломерату в різних співвідношеннях паливних добавок.

Розрахунково-аналітичні дослідження впливу співвідношення паливних добавок (коксу, ПВП і природного газу (ПГ)) для різних варіантів технології виплавки чавуну виконували на великих масивах даних промислових плавок при раціональній витраті ВР у аглошихту близько 70 кг/т агломерату (табл. 3).

Проведені балансові розрахунки показали, що при частковій заміні ПВП природним газом у кількості 35 м³/т чавуну витрати коксу зменшилися на 35 кг/т чавуну, що призвело до зниження вартості чавуну на 2,1 %.

Досліджено вплив умов проведення доменної плавки на деякі її показники (табл. 4). Проведені балансові розрахунки, представлені в табл. 3, показали:

1. При частковій заміні ПВП природним газом у кількості 30 м³/т чавуну (витрата ПВП = 130 + ПГ = 30) і при збереженні еквівалентної кількості ПВП ≈150 кг/т чавуну витрати коксу знизяться на 14,8 кг, з них за рахунок поліпшення газодинаміки й ступеня використання до 7,1 кг/т чавуну, коефіцієнт заміни суміші добавок збільшиться до 0,97.

2. Відсутність збагачення дуття киснем призведе до значного збільшення витрати коксу, у тому числі

Таблиця 4

Деякі параметри доменної плавки та характеристики чавуну при виробництві в оптимальних сировинних і енергетичних умовах (оптимальні витрати ВР – 70 кг/т агломерату)

Тип технології виплавки чавуну	Витрати коксу, кг/т чав.	Витрати ПВП, кг/т чав.	Витрати ПГ, м ³ /т чавуну	[Si], %	[S], %	[P], %	T _{чав.} , °C	Вартість 1 т чавуну без ПДВ, %
ПВП*)	407	134	0,0	0,60	0,033	0,067	1430	100,0
ПВП + ВР	429	130	30,0	0,60	0,034	0,065	1430	92,9
ПВП + ПГ	372	116	35,2	0,52	0,038	0,068	1420	97,9
ПВП + ПГ + ВР	461	130	30,0	0,20	0,037	0,066	1420	91,8

*) – вартість технології умовно прийнята за 100 %

Таблиця 5

Зміна витрати коксу й характеристик чавуну при спільному вдмухуванні ПВП й ПГ у повітряні фурми

Технологія 2020 р.	Кокс, кг/т чав.	$Q_{\text{ПВП}}$, кг/т чав.	$Q_{\text{ПГ}}$, м³/т чав.	Відсів коксу, кг/т чав.	[Mn], %	[Si], %	[S], %	[P], %	$T_{\text{чав.}}$, °C	Вартість (без ПДВ) 1 т переробного чавуну, %.
ПВП	407	134	0,0	42,2	0,29	0,60	0,033	0,067	1430	100,0/92,9 ^{*)}
ПВП + ПГ	372	116	35,2	45,1	0,29	0,52	0,038	0,068	1420	97,9/91,8 ^{*)}

^{*)} – у знаменнику вартість 1 т переробного чавуну при використанні вторинних ресурсів при виробництві агломерату (відходів промислового виробництва, шлаків, підготовленого дрібнодисперсного пилу сухих газоочисток [14, 15])

за рахунок скорочення витрати ПВП. Для дотримання базової теоретичної температури горіння (у розрахунках використовується балансова температура фурменої зони) витрату ПВП необхідно буде скоротити до 32 кг/т чавуну, а витрата коксу складе 556 кг/т.

3. Для роботи із прийнятною теоретичною температурою горіння ≈ 2000 °C, необхідна витрата ПВП складе 100 кг/т чавуну при витраті коксу 484 кг/т.

4. Зменшення вмісту кисню в дутті на кожний 1 % буде призводити до зменшення витрат коксу на ≈ 2 кг/т чавуну.

Оптимізація шихтових і технологічних умов [2, 8–13] на одному з металургійних підприємств України у 2019–2020 рр., дозволила зменшити собівартість залізорудної частини шихти й витрату коксу, що у свою чергу зменшило собівартість чавуну. Застосування в цих умовах удосконаленої технології спільного вдмухування ПВП й ПГ у повітряні фурми дозволило зменшити тепловий резерв, виражений у зменшенні вмісту кремнію у чавуні (табл. 5).

Висновки

При використанні двох основних технологій – вдмухування ПВП і спільного вдмухування ПВП і ПГ, вміст кремнію в чавуні при використанні другої технології зменшується на $\approx 0,1$ %, вміст сірки в чавуні знаходиться приблизно на одному рівні 0,033–0,038 %, як і температура чавуну 1420–1430 °C. Значно зменшується сумарне паливо: від 560 кг/т чавуну при вдмухуванні ПВП до 540 кг/т чавуну – при спільному вдмухуванні ПВП і ПГ.

З огляду на сезонну зміну ціни на природний газ, для забезпечення найменшої собівартості чавуну необхідно в другій половині весни, літа і в першій половині осені застосовувати технологію спільного вдмухування ПВП і ПГ, в решту часу використовувати

технологію зі 100 % ПВП. При цьому, з урахуванням застосування переважно вугілля слабкоспікових марок в умовах експортозалежності, для зниження собівартості останнім часом варіюють закупівлю вугілля у двох основних постачальників: Російської Федерації і країн Америки. При витратах ПВП понад 140 кг/т чавуну не тільки знижується коефіцієнт заміни коксу, а й відбувається його перевитрата в умовах властивих українським підприємствам якісних характеристик залізорудної сировини і коксу, при цьому, найдорожчим паливом при виплавці чавуну є кокс.

Використання вторинних ресурсів (відходів промислового виробництва шлаків, підготовленого дрібнодисперсного пилу сухих газоочисток) дозволяє скоротити вартість агломерату на 10–20 % за рахунок скорочення частки залізорудного концентрату. Крім цього, залучення підготовленого дрібнодисперсного пилу сухих газоочисток у агломеративному виробництві вирішує проблеми забруднення навколишнього середовища і до 2030 року є одним з головних актуальних завдань металургійної галузі України [15].

При підвищенні інтенсивності плавки із збагаченням дуття киснем і введенням в шихту окатишів, собівартість чавуну зростає на 12–17 %. При цьому, інтенсивність доменного виробництва визначається кон'юнктурою ринку збуту готової продукції і може варіюватися в широких діапазонах.

Таким чином, застосування і розвиток коксозамінних технологій і заходів, обґрунтований експертний вибір шихтових параметрів агломеративного виробництва, модернізація обладнання, використання кращих світових практик та технічних рішень, дозволяє підтримувати стійкий тепловий та газодинамічний режим роботи доменних печей, що характеризується стабільністю температури чавуну і його хімічного складу.

ЛІТЕРАТУРА

- Вергун А.С., Чернятевич А.Г., Нестеров А.С., Чайка А.Л., Тогобицкая Д.Н., Кисляков В.Г., Молчанов Л.С. Современный технологический маршрут конвертерного производства качественного железобетонного полупродукта в сырьевых и энергетических условиях Украины. *Метал та луття України*. 2020. № 1. С. 30–37. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.01.030>
- Семенов Ю.С., Подкоритов О.Л., Горупаха В.В., Семіон І.Ю., Оробцев А.Ю., Нестеров О.С., Шумельчик Є.І., Пустовой С.М., Гапоненко О.А., Соловйов В.В. Нові наукові і прикладні результати досліджень ефективності використання пиловугільного палива при виробництві чавуну і випалі вапняку. *Метал та луття України*. 2020. № 2. С. 15–26. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.02.015>

3. Нестеров А.С., Гармаш Л.И., Захарченко В.Н. Современное состояние аглодоменного производства в Украине и пути его совершенствования. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2015. Вып. 30. С. 27–37. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/143942>
4. Нестеров А.С., Якушев В.С., Джигота А.Д. и др. Особенности агломерации шихт с повышенным содержанием вторичного сырья. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2008. Вып. 17. С. 52–57. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/22343>
5. Нестеров А.С., Якушев В.С., Джигота А.Д. и др. Получение агломерата заданного состава и свойств при вовлечении в шихту вторичного сырья. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2011. Вып. 24. С. 29–36. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/62585>
6. Нестеров А.С., Гармаш Л.И., Лопатенко К.П. и др. Исследование высокотемпературных свойств железорудных материалов в лабораторных условиях. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2018. Вып. 32. С. 64–79. DOI: <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2018-32-64-79>
7. Нестеров А.С., Гармаш Л.И., Болденко М.Г. и др. Влияние поверхностно-активных веществ на процессы агломерации при использовании вторичных ресурсов. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2018. Вып. 32. С. 80–92. DOI: <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2018-32-80-92>
8. Semenov Yu.S., Gorupakha V.V., Kuznetsov A.M. et al. Experience of Using Manganese-Containing Materials in Blast-Furnace Charge. *Metallurgist*. January 2020. Vol. 63. Issue 9–10. P. 1013–1023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11015-020-00920-1>
9. Semenov Yu.S., Podkorytov A.L., Shumelchik E.I. et al. Decision Support System for Controlling Thermal State of Blast Furnace Smelting. *Steel in Translation*. 2021. Vol. 51. No. 4. P. 261–266. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0967091221040094>
10. Semenov Yu.S., Horupakha V.V., Semion I.Yu. et al. Effectiveness of implementation of the circumferential uneven pulverized coal distribution on the blast furnace air tuyeres. *Chernye Metally*. 2019. Vol. 10. P. 11–16. URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85074877924&partnerID=MN8TOARS>
11. Semenov Yu.S., Horupakha V.V., Shumelchik E.I., Alter M.A. Blast Furnace Operation Improvement by Forming Uniform Circular Distribution of Raceway's Thermal Mode. AISTech 2021 – Proceedings of the Iron & Steel Technology Conference, 29 June –1 July 2021, Nashville, Tenn., USA. P. 184–192. DOI: <https://doi.org/10.33313/382/018>
12. Семенов Ю.С., Подкорытов А.Л., Горупаха В.В. и др. Повышение эффективности использования пылеугольного топлива при производстве чугуна и обжиге известняка в нестабильных технологических условиях. *Черметинформация. Бюллетень «Черная металлургия»*. 2020. № 7. С. 676–690. DOI: <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2020-7-676-690>
13. Semenov Yu.S., Horupakha V.V., Shumelchik Ye.I. Measures for Preventing Disruption in the Blast Furnace Operation under Use of Pulverized Coal. *Steel in Translation*. 2020. Vol. 50. No. 2. P. 100–106. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0967091220020096>
14. Большаков В.И., Нестеров А.С., Пивненко А.В., Коваленко А.Г. Исследование влияния гранулированных металлургических отходов в составе аглошихты на показатели аглопроцесса и качество агломерата. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2013. Вып. 27. С. 13–31. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/139100>
15. Vashchenko S.V., Khudyakov A.Yu., Baiul K.V., Semenov Yu.S. Method to predict strength characteristics of briquettes obtained from dry fine-grained materials. *Chernye Metally*. 2021. Vol. 6. P. 59–64. DOI: <https://doi.org/10.17580/chm.2021.06.11>

Надійшла 12.08.2021

REFERENCES

1. Vergun, A.S., Chernyatevich, A.G., Nesterov, A.S., Chaika, A.L., Togobitskaya, D.N., Kisliakov, V.G., Molchanov, L.S. (2020). Modern technological route of converter production of qualitative iron-carbon semi-product in raw material and energy conditions of Ukraine. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 1, pp. 30–37, doi: <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.01.030> [in Russian].
2. Semenov, Yu.S., Podkorytov, O.L., Horupakha, V.V., Semion, I.Yu., Orobtshev, A.Yu., Nesterov, O.S., Shumelchik, E.I., Pustovoi, S.M., Gaponenko, O.A., Solovyov, V.V. (2020). New scientific and applied results of studies efficiency use of pulverized coal in the production of cast iron and lime burning. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 2, pp. 15–26, doi: <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.02.015> [in Ukrainian].
3. Nesterov, A.S., Garmash, L.I., Zakharchenko, V.N. (2015). The current state of sinter production in Ukraine and ways to improve it. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, iss. 30, pp. 27–37. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/143942> [in Russian].
4. Nesterov, A.S., Yakushev, V.S., Dzhygota, A.D. et al. (2008). Features of agglomeration of charges with the increased content of secondary raw materials. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, iss. 17, pp. 52–57. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/22343> [in Russian].
5. Nesterov, A.S., Yakushev, V.S., Dzhygota, A.D. et al. (2011). Obtaining an agglomerate of a given composition and properties when involved in the charge of secondary raw materials. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, iss. 24, pp. 29–36. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/62585> [in Russian].

6. Nesterov, A.S., Garmash, L.I., Lopatenko, K.P. et al. (2018). Investigation of high-temperature properties of iron ore materials in laboratory conditions. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, iss. 32, pp. 64–79, doi: <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2018-32-64-79> [in Russian].
7. Nesterov, A.S., Garmash, L.I., Boldenko, M.G. et al. (2018). Influence of surfactants on agglomeration processes using secondary resources. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, iss. 32, pp. 80–92, doi: <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2018-32-80-92> [in Russian].
8. Semenov, Yu.S., Gorupakha, V.V., Kuznetsov, A.M. et al. (2020). Experience of Using Manganese-Containing Materials in Blast-Furnace Charge. *Metallurgist*. January 2020, vol. 63, iss. 9–10, pp. 1013–1023, doi: <https://doi.org/10.1007/s11015-020-00920-1>
9. Semenov, Yu.S., Podkorytov, A.L., Shumelchik, E.I. et al. (2021). Decision Support System for Controlling Thermal State of Blast Furnace Smelting. *Steel in Translation*, vol. 51, no. 4, pp. 261–266, doi: <https://doi.org/10.3103/S0967091221040094>
10. Semenov, Yu.S., Horupakha, V.V., Semion, I.Yu. et al. (2019). Effectiveness of implementation of the circumferential uneven pulverized coal distribution on the blast furnace air tuyeres. *Chernye Metally*, vol. 10, pp. 11–16. URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85074877924&partnerID=MN8TOARS>
11. Semenov, Yu.S., Horupakha, V.V., Shumelchik, E.I., Alter, M.A. (2021). Blast Furnace Operation Improvement by Forming Uniform Circular Distribution of Raceway's Thermal Mode. AISTech 2021 – Proceedings of the Iron & Steel Technology Conference, 29 June – 1 July 2021, Nashville, Tenn., USA, pp. 184–192, doi: <https://doi.org/10.33313/382/018>
12. Semenov, Yu.S., Podkorytov, A.L., Gorupakha, V.V. et al. (2020). Efficiency increase of powdered coal application at hot metal production and limestone calcination under unstable technology conditions. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*, no. 7, pp. 676–690, doi: <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2020-7-676-690> [in Russian].
13. Semenov, Yu.S., Horupakha, V.V., Shumelchik, Ye.I. (2020). Measures for Preventing Disruption in the Blast Furnace Operation under Use of Pulverized Coal. *Steel in Translation*, vol. 50, no. 2, pp. 100–106, doi: <https://doi.org/10.3103/S0967091220020096>
14. Bolshakov, V.I., Nesterov, A.S., Pivnenko, A.V., Kovalenko, A.G. (2013). Investigation of the influence of granular metallurgical waste as a part of sinter batch on sinter process indicators and sinter quality. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, iss. 27, pp. 13–31. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/139100> [in Russian].
15. Vashchenko, S.V., Khudyakov, A.Yu., Baiul, K.V., Semenov, Yu.S. (2021). Method to predict strength characteristics of briquettes obtained from dry fine-grained materials. *Chernye Metally*, vol. 6, pp. 59–64, doi: <https://doi.org/10.17580/chm.2021.06.11>

Received 12.08.2021

Summary

Yu.S. Semenov, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, Senior Researcher, e-mail: yuriy.semenov.isi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2299-5742>

O.S. Vergun, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Senior Researcher, e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0001-5493-9214>

O.S. Nesterov, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, Head of the Department, e-mail: asn.dnepr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0183-0327>

V.G. Kislyakov, PhD (Engin.), Head of the Department, e-mail: ovoch-isi@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0002-1775-5050>

V.V. Horupakha, Researcher, e-mail: gorupaha.viktor@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0531-1871>

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

Ways to improve the efficiency of sinter-blast furnace production in the raw materials and energy conditions of the metallurgical enterprises of Ukraine

The article is devoted to determining the influence of some types of secondary resources on the quality of the agglomerate, its chemical composition and properties, as well as on the course of the blast furnace process when using such an agglomerate, including in combination with the use of pulverized coal (PC).

The results of performed calculation-analytical, laboratory and industrial studies of the influence of sinter composition on the

features of sinter production technology, as well as the use of such sinter in combination with the use of PC on the results of technology and parameters of cast iron are presented.

The influence of the introduction of secondary materials into the sintering charge on the indicators of experimental sintering of the sinter was experimentally investigated on the example of the introduction of the use of sludge and fine dust.

It is shown that the introduction of secondary resources into the sinter charge will reduce the cost of the sinter, but a significant increase in their content can lead to deterioration of some characteristics of the finished sinter, as well as increase coke consumption in cast iron smelting equal to 70 kg/t of sinter.

The influence of the ratio of fuel impurities consumption for variants of cast iron smelting technology at the optimal consumption of secondary resources of 70 kg/t of sinter in different ratios of fuel additives is studied. The influence of blast furnace smelting conditions on some of its parameters has been studied.

The balance calculations showed that with the partial replacement of PC with natural gas in the amount of 35 m³/t of cast iron, coke consumption decreased by 35 kg/t of cast iron, which led to a decrease in the cost of cast iron by 2.1 %.

It is shown that the application and development of coke exchange technologies and measures, substantiated expert choice of charge parameters of sinter production, modernization of equipment, allows to maintain a stable thermal and gasdynamic mode of blast furnaces, characterized by temperature stability of cast iron and its chemical composition.

Keywords

Agglomerate, secondary resources, blast furnace, input.