

УДК 669.162.1:040.27

<https://doi.org/10.34185/tpm.3.2019.03>

Ковальов Д.А., Ванюков А.А., Безшкуренко О.Г., Дворковий О.І.

## Дослідження ефективності часткової заміни природного газу твердим паливом для випалу залізорудних окатишів

Kovalev D.A., Vanyukov A.A., Bezshkurenko O.G., Dvorkovy O.I.

### Study of the efficiency of partial replacement of natural gas solid fuel for firing iron ore pellets

**Мета.** В даний час більшість фабрик огрудкування використовують в якості теплоносія природний газ і рідке паливо. Однак, з огляду на перспективи розвитку енергетики, швидке виснаження запасів нафти і газу в порівнянні з запасами вугілля, слід визнати, що збільшення масштабів використання вугілля дозволить уникнути енергетичної кризи. До теперішнього часу обставини змінилися таким чином, що необхідність економії теплоти при виробництві окатишів стала ще більш актуальною. В даній роботі досліджували ефективність часткової заміни природного газу твердим паливом для випалу залізорудних окатишів. **Методика.** Експериментальні дослідження в лабораторних та виробничих умовах. **Результати.** Додаткова кількість теплоти, що виділяється в результаті горіння частини твердого палива та внесення повітрям із зони охолодження і окислення окатишів дозволило знизити загальну витрату природного газу, споживаного обпалювальною машиною з 3960 - 4360 м<sup>3</sup>/год до 3470 - 3710 м<sup>3</sup>/год. Зросла температура теплоносія в перетічному колекторі з 860 - 870 °С до 900 - 930 °С. У дослідних періодах знизилася кількість обпалюваного звороту з 20 - 30 т/год до 15 - 20 т/год. При цьому годинна продуктивність обпалювальної машини зросла з 258,6 т/год до 281 т/год. Питома витрата природного газу знизилася з 16,8 м<sup>3</sup>/т окатишів до 12,3 - 13,1 м<sup>3</sup>/т, а з 32,3 - 37,1 кВт·год/т до 29,3 - 33,8 кВт·год/т окатишів. Міцність обпалених окатишів і вміст дріб'язку в готовій продукції не змінилась. **Наукова новизна.** Наведені результати дослідження свідчать, що при роботі на окатишах, що містять тверде паливо зросла температура в перетічному колекторі на 40-70 °С. Це є результатом окислення магнетиту в зоні охолодження. Практична значущість. Економія природного газу при випалюванні окатишів, отриманих з шихти з додаванням твердого палива. Зниження питомої витрати природного газу за рахунок підвищення продуктивності обпалювальної машини.

Ключові слова: огрудкування, обпал окатишів, тверде паливо, природний газ

**Objective.** Currently, most pellet mills use natural gas and liquid fuel as a heat carrier. However, given the prospects for energy development, rapid depletion of oil and gas reserves compared to coal reserves, it should be recognized that increasing the use of coal will avoid energy crises. To date, circumstances have changed in such a way that the need to save heat in the production of pellets has become even more urgent. In this work, we investigated the efficiency of partial replacement of natural gas with solid fuel for firing iron ore pellets. **Method.** Experimental research in laboratory and production conditions. **Results.** The additional amount of heat released as a result of burning part of the solid fuel and introduced by air from the cooling and oxidation zone of the rolling mills reduced the total consumption of natural gas consumed by the combustion machine from 3960 - 4360 m<sup>3</sup> / h to 3470 - 3710 m<sup>3</sup> / h. The temperature of the coolant in the flow collector has increased from 860 - 870 ° C to 900 - 930 ° C. In the experimental periods, the amount of calcined return decreased from 20 - 30 t / h to 15 - 20 t / h. At the same time, the hourly productivity of the firing machine increased from 258.6 t / h to 281 t / h. The specific consumption of natural gas decreased from 16.8 m<sup>3</sup> / t of pellets to 12.3 - 13.1 m<sup>3</sup> / t, and from 32.3 - 37.1 kWh / t to 29.3 - 33.8 kWh / t pellets. The strength of the calcined pellets and the content of the trifle in the finished product has not changed. **Scientific novelty.** The results of the study show that when working on pellets containing solid fuel, the temperature in the flow collector increased by 40-70 ° C. This is the result of oxidation of magnetite in the cooling zone. **Practical significance.** Saving natural gas when burning pellets obtained from the charge with the addition of solid fuel. Reducing the specific consumption of natural gas by increasing the productivity of the incinerator.

Key words: pelletizing, pellet roasting, solid fuel, natural gas

#### Вступ

В даний час більшість фабрик огрудкування використовують в якості теплоносія природний газ і рідке паливо. Однак, з огляду на перспективи розвитку енергетики, швидке виснаження запасів нафти і газу в порівнянні з запасами вугілля, слід визнати, що збільшення масштабів використання вугілля дозволить уникнути енергетичної кризи [1]. До теперішнього часу обставини змінилися таким чином, що необхідність економії теплоти при виробництві окатишів стала ще більш актуальною.

#### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ

Можливі три основних напрямки використання твердого палива для випалу окатишів: шляхом його газифікації повітрям або киснем з отриманням низько і середньокалорійного газу; безпосереднім

спалюванням пилоподібного палива в спеціальних виносних топках з отриманням високотемпературних димових газів, а також при спалюванні його в пальниках трубчастих обертових печей; шляхом добавки твердого палива в шихту для огрудкування [2].

Якщо ефективність застосування пиловугільного палива для зниження витрати коксу при виплаві чавуну не викликає сумніву [3], то заміна природного газу для виробництва залізорудних окатишів недостатньо обґрунтована. Перевага на відміну від агломерації при випалюванні окатишів полягає в тому, що в газах, що викидаються в атмосферу не виявлено СО і ціана (CN)<sub>2</sub> [4]. При цьому найважливіше врахувати шкоду навколишньому середовищу, який наноситься агломерацій-

ним виробництвом в результаті викидів в атмосферу оксидів сірки, азоту, окису вуглецю і ціану [5].

Спалювання пиловугільного палива здійснюється на теплоелектростанціях, в обертових печах при виробництві цементу, в горні доменної печі та інших теплових агрегатах [6]. Спалювання вугілля в надшаровому просторі обпалювального агрегату стосовно випалу окатишів виконано на дослідній установці в США з використанням бітумінозного і бурого вугілля. Подрібнене вугілля подавали повітряним потоком в пальник трубчастого типу, де забезпечували повне згоряння вугілля. За цією схемою при одному пальнику вилучається максимальна кількість теплової енергії. Однак, для конвеєрних машин схема ускладнюється, де кількість пальників збільшується до 24 штук (ОК - 306), 34 штук (ОК - 552), що потребує перед кожним пальником необхідність встановлення бункера з дозуючим пристроєм [7].

При використанні цієї системи зола вугілля потрапляє в шар окатишів і виникає ймовірність утворення настилів в обертовій печі і утворення спеченців при випалюванні на конвеєрних машинах. Найбільш прийнятним для цих цілей є вугілля, температура розм'якшення золи якого повинна бути близько 1480°C [8].

Найбільш перспективним способом використання твердого палива для випалу залізорудних окатишів є введення його в шихту для огрудкування. Подача палива в окатиш може здійснюватися накопчуванням на поверхню сформованої сирової гранули, розподілом палива рівномірно за обсягом окатишів шляхом окатування рудовугільної шихти.

Виконано значний обсяг досліджень з випалювання залізорудних окатишів з використанням твердого палива. Це пов'язано як з різноманіттям видів окатишів, так і палив. Вивчено рудно-паливні окатиші, отримані хіміко-каталітичним методом [9], двохшарові окатиші з різним вмістом вуглецю в зовнішньому і внутрішньому шарах і металізовані окатиші [10]. Зазначені способи виробництва окатишів через складність технології промислового виробництва поширення не отримали.

Стимулом до використання твердого палива при виробництві звичайних доменних окатишів, крім причин вище перерахованих, є все більш значне залучення в процес огрудкування гематитових концентратів [11,12].

Дослідження по використанню вугілля при виробництві окатишів на випалювальних конвеєрних машинах проведені фірмою Лургі [13]. На конвеєрній машині в Ліберії при введенні в шихту 0,6% вугілля приріст продуктивності отриманий в 15% при незначному збільшенні температури окатишів при розвантаженні [14].

У разі збереження температури нижніх ділянок оброблюваного шару такої ж, як і при звичайному режимі випалу (1100°C), добавка твердого палива призводить до збільшення продуктивності обпалювальної машини на 11,2%, при цьому економія

природного газу складає 1,64 м<sup>3</sup>/т, а питома витрата тепла скорочується на 171,7 МДж/т. Питома витрата електроенергії зменшується при цьому на 2,6 кВт·г/т придатних окатишів. [15].

Температурно-тимчасові характеристики випалу окатишів такі як рівень температури, тривалість термообробки забезпечують отримання окатишів необхідної якості.

На фабриці для огрудкування фірми «Сідбек-Нормайнс» в Канаді було вироблено 8 млн. т окатишів з добавкою в середньому 0,85% коксика в шихту. Витрата мазуту скоротилась з 21 до 13,5 л/т окатишів. Металургійні властивості окатишів не змінилися. За рахунок різниці у вартості коксика і мазуту економія витрат склала 4,5 млн. доларів на рік [16].

Одним із способів використання твердого палива для виробництва окатишів є накопчування його на поверхню окатишів [17]. При цьому відбувається вирівнювання температури по висоті шару в разі комбінованого обігріву [18]. При введенні в шихту твердого палива можливе отримання вюститно-магнетитових окатишів. Такі окатиші отримані при вмісті в шихті 2% твердого палива при температурі 1200 - 1250°C, а одержана вюститно-магнетитова структура забезпечує високі показники при відновлювально-тепловій обробці [19].

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ОКАТИШІВ З ДОБАВКОЮ ТВЕРДОГО ПАЛИВА В ШИХТУ НА ОБПАЛЮВАЛЬНІЙ МАШИНИ ОК-324/336**

Випалювальна машина нового покоління ОК - 324/336 з візком 4 м, забезпечена інжекційними пальниками в зонах випалу і пристроями для подачі газу знизу. Його спалювання в шарі здійснюється за допомогою газо-повітрярозподільних пристроїв (ГПРП), змонтованих в дуттєвих камерах.

Відпрацьований в лабораторних умовах режим комбінованого випалу окатишів був випробуваний, а потім впроваджений у виробництво на фабриці огрудкування ЦГЗК. Сутність технології полягає в тому, що в шихту вводиться тверде паливо, а шар обігрівається продуктами горіння природного газу. У базовий і дослідний період фізико-хімічні характеристики концентрату вапняку і бентоніту були практично однаковими. Використовували залізорудний концентрат, який мав вміст:

Fe<sub>зар</sub>-65,82-65,5%; SiO<sub>2</sub>- 7.9-8.38%; вапняк CaO-50.45-46.2%; CaO + MgO-52.45-52.77%; вугілля: зола-20-22%; вуглець-74-76%.

Подрібнена суміш вапняку і вугілля містила 81,7 - 96,4% фракції менше 0,071 мм і 35 - 39% вуглецю. Суміш дозувалася в шихту в кількості 1% від маси концентрату. Продуктивність млина при подрібненні суміші вапняку і вугілля склала 15 ± 3 т/год. Інша частина вапняку, необхідна для офлюсування окатишів, подрібнювалася спільно з бентонітом.

Таблиця 1  
Характеристика сирих окатишів

Періоди	Масова частка вологи, %	Міцність		Вміст класів, %		
		Скидання, раз,	Опір стиску, кг/ок	+18 мм	8 – 18 мм	- 8 мм
Базовий	10,20	4,2	1,1	10,1	83,8	6,0
Дослідний I	10,05	4,9	1,15	14,3	82,3	6,0
Дослідний II	10,15	4,0	1,0	14,8	82,0	6,4
Дослідний III	10,20	4,20	1,10	12,04	82,03	6,0

Режими роботи чашкових огрудковувачів в базових і дослідних періодах були практично однакові. Продуктивність огрудковувачів коливалася в межах 90 - 110 т/год. Гранулометричний склад сирих окатишів і їх характеристики міцності в базо-

вих і дослідних періодах наведені в таблиці 1. Введення в шихту тонкоздрібненого вугілля 0,7 - 1% не позначилось на технологічні параметри отримання сирих окатишів.

Таблиця 2  
Показники випалу окатишів на машині ОК-324/336 Ц

Параметри режиму	Вміст антрациту в шихті, %		
Продуктивність по сирих окатишам, т/год	255,0	257,0	260,0
Відсів сирих окатишів після укладчика, т/год	30,3	31	30,5
Висота шару сирих окатишів, мм	400	400	400
Витрата, м <sup>3</sup> /год: Природного газу Повітря	3600 4200	3450 4180	3380 4150
Температура під пальниками, °С			
1-2	850	850	850
3-4	1100-1150	1100-1150	1100-1150
5-6	1200-1250	1200-1250	1200-1250
7-8	1200-1250	1200-1250	1200-1250
9-10	1250-1270	1200-1210	1150-1200
11-12	1240-1260	1100-1150	1030-1060
13-14	1100-1150	1030-1040	100-1030
Температура в зонах, °С			
Сушка 2	150-200	150-200	150-200
Підігрів	350-400	350-400	350-400
Охолодження 2	200-250	200-220	180-200
Тиск (+) і вакуум (-) під шаром окатишів, мм вод. ст.			
Камери: № 7	300-350	-(300-350)	-(300-350)
№ 12	310-320	-320	-320
№ 14	260-280	-260	-260
Коллектор прямого перетока над зонами: подогрева			
Давление, мм. вод. ст	5-7	5-7	5-7
Температура, °С	860-890	850-880	850-860
Обпал 2			
Тиск, мм. вод. ст.	5-10	5-10	5-10
Температура, °С	860-890	850-880	850-860

Режими термообробки обкатишів і параметри роботи обпалювальної машини в базовому і дослідному періодах наведені в таблиці 2. Введення в шихту твердого палива дозволило збільшити швидкість руху випалювальних візків з 1,8 - 2,0 до 1,9 - 2,2 м/хв, при одночасному підвищенні температури в вакуум камері № 15 з 280-350°С до 340-360°С. Додаткова кількість тепла, що виділяється за рахунок згорання в око-

тишах твердого палива і нагрівання повітря в зоні охолодження, дозволило знизити загальну витрату газу, споживаного обпалювальною машиною, з 3960-4360 м<sup>3</sup>/год до 3470-3710 м<sup>3</sup>/год. Зросла температура теплоносія в перетічних колекторі з 860-870°С до 900-930°С. У дослідних періодах знизилася кількість обпаленого звороту з 20-30 т/год до 15-20 т/год. При цьому годинна продуктивність обпалювальної машини зросла з

258,6 т/год до 281 т/год, питома витрата газу на випал окатишів знизилася з 16,8 м<sup>3</sup>/т до 12,3-13,1 м<sup>3</sup>/т, а питома витрата електроенергії - з 32,3-37,1 квт год/т до 29,3 - 33,8 квт год/т окатишів (таблиця 3). Міцність обпалених окатишів і вміст дріб'язку в готовій продукції не змінилися (таблиця 4). Слід зазначити, підвищення вмісту монооксиду заліза з 1,4% до 3,67 - 4,11%. Деяке зниження міцності пов'язано зі збільшенням пористості обпалених окатишів.

Наведені результати дослідження свідчать, що при роботі на окатишах, що містять тверде паливо зросла температура в перетічному колекторі на 40-70°C. Це є результатом окислення магнетиту в зоні охолодження. Виконаний розрахунок впливу витрати природного газу на температуру продуктів горіння, що входять в зону випалу показує, що збільшення витрат природного газу на кожні 100 м<sup>3</sup>/год підвищує температуру димових газів на 18,8 - 21,2°C, що

знижує витрату природного газу на 212 м<sup>3</sup>/год - 372 м<sup>3</sup>/год. По відношенню до отриманого зниження витрат природного газу це становить 65,2%, решта природного газу компенсується кількістю теплоти, що виділилася при окисленні вуглецю окатишів киснем теплоносія.

Отримані результати підтверджують справедливості нової теорії, що пояснює економію природного газу при випалюванні окатишів, отриманих з шихти з додавкою твердого палива. Зниження питомої витрати природного газу пояснюється також підвищенням продуктивності обпалювальної машини. Це збільшення склало 8,66%. Відповідно знизилася питома витрата електроенергії на 10%. Відзначимо збіг теоретичних висновків, результатів лабораторних, промислових випробувань і впровадження удосконаленої технології випалу окатишів отриманих з шихти з додавкою твердого палива.

Таблиця 3  
Характеристика обпалених окатишів

Періоди	Хімічний склад, %					
	Fe <sub>заг</sub>	Fe	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	S
Базовий	59,8	1,4	5,7	0,75	7,6	
Дослідний I	60,44	3,93	5,24	0,80	7,96	0,04
Дослідний II	59,8	4,11	5,43	1,03	8,31	0,08
Дослідний III	59,9	3,67	5,5	0,84	7,9	0,07
Періоди	Ос-новність, ед.	Вміст дріб'язку, 5 мм, %	Опір стис-ку, кг/ок	Міцність в барабані, %		Продуктивність машини, т/год
				+5 мм	-0,5 мм	
Базовий	0,80	5,6	227	91,1	8,0	258,6
Дослідний I	0,74	5,2	213	87,9	10,5	281,6
Дослідний II	0,78	5,1	210	89,6	9,30	279,4
Дослідний III	0,80	5,3	217	88,6	10,1	272,0

#### Висновки

Додаткова кількість теплоти, що виділяється в результаті горіння частини твердого палива та внесене повітрям із зони охолодження і окислення обкатишів дозволило знизити загальну витрату природного газу, споживаного обпалювальною машиною з 3960 - 4360 м<sup>3</sup>/год до 3470 - 3710 м<sup>3</sup>/год. Зросла температура теплоносія в перетічному колекторі з 860 - 870°C до 900 - 930°C. У дослідних періодах знизилася кількість

обпаленого звороту з 20 - 30 т/год до 15 - 20 т/год. При цьому годинна продуктивність обпалювальної машини зросла з 258,6 т/год до 281 т/год. Питома витрата природного газу знизилася з 16,8 м<sup>3</sup>/т окатишів до 12,3 - 13,1 м<sup>3</sup>/т, а з 32,3 - 37,1 кВт·год/т до 29,3 - 33,8 кВт·год/т окатишів. Міцність обпалених окатишів і вміст дріб'язку в готовій продукції не змінилась. Слід зазначити підвищення вмісту монооксиду заліза з 1,4% до 3,67 - 4,11%.

#### Бібліографічний опис:

1. Мовчан В.П. Бережной Н.Н., Ковалев Д.А. Перспективы использования каменных углей при подготовке металлургического сырья. //Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. научн. тр. – часть 1. – Липецк: ЛГТУ – 2001- 149.
2. Технология производства офлюсованных железорудных окатышей с вводом в шихту твердого топлива. / В.П. Мовчан, Н.Е. Пугач, О.П. Литвинов и др. // Горный журнал. – 2002. - № 6 – С. 58 – 59.
3. Эффективность использования пылеугольного топлива в доменных цехах Украины / Плискановский С. Т., Бень Т. Г., Приходько Ю.А и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1996 - № 1 – С. 8 – 12.
4. Мовчан В.П. Влияние добавок антрацита в шихту на запыленность газопотоков при обжиге окатышей // Разработка рудных месторождений. Научно-технический сборник. – Выпуск № 79. –Кривой Рог – 2002 – С. 72 – 76.
5. Мовчан В.П. Особенности формирования отходящих газов при агломерации. // Разработка рудных месторождений. Научно-технический сборник (к 80-летию КТУ) – Кривой Рог – 2002 – С. 145 – 148.

6. Воронов Е.М., Мещерякова Н.И., Делягин П.Н. Использование низкокачественных углей для обжига железорудных окатышей // Бюллетень научно-технической информации – Черметинформация «Черная металлургия» - 1979 - № 5 – С. 6 – 19.
7. Аллис Чаллерс Ф. Использование углей взамен природного газа на установке решетка-трубчатая печь. // Труды симпозиума по использованию твердого топлива при обжиге окатышей. Кривой Рог. – 1982.
8. Элинзон М.П., Васильков С.Г. Топливосодержащие отходы в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат. – 1980. – С. 223.
9. Металлургические свойства гранул, полученных химико-каталитическим методом. / Чернышев А.М., Гесс Б.А., Киселев Г.П. // Сб. трудов «Новые методы подготовки топливных и топливно-рудных материалов и их металлургическая переработка». М.: Издательство АН СССР. – 1963 – т. XXII – С. 39 – 49.
10. Бережной Н.Н., Губин Г.В., Дрожилов Л.А. Окомкование тонкоизмельченных концентратов железных руд. М.: «Недра». – 1971. – 176 с.
11. Бережной Н.Н., Булычев В.В., Костин А.И. Производство железорудных окатышей. М.: «Недра» - 1977. - с.
12. Hasanak N.A. The manufacture of basic pellets and their behavior in the blast furnace. // Iron mining Proceeding. - 1976 - № 35 – Р. 144 – 153.
13. Г.Фон Струве. Новое в развитии процесса Лурги-Драво для производства железорудных окатышей// Aufboraitung Technik. – 1973 – 14. - № 12 – С. 783 – 788.
14. Apple by John, Shaw George. Углеродистые добавки в процессе производства окатышей. // Skill Mining Rev. – 1986 – 75 - № 10 – Р. 4 – 11.
15. Оценка расхода топлива на обжиг железорудных окатышей / Майзель Г.М., Абзалов В.М., Буткарев А.П. и др. // Сталь. – 1978 - № 7 – С. 585 – 587.
16. Desmenles. Т. Эффективность добавки твердого топлива в шихту окомкования. Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. – 1983 – v. 76. - № 856 – Р. 91 – 95.
17. Мачковский А.И., Селезнев А.Е. Окускование железорудных концентратов. М.: Металлургиздат. – 1961 – 136 с.
18. Кожевников И.Ю. Бескоксовая металлургия железа. М.: Металлургия. – 1970 – 336 с.
19. Разработка технологии производства вюститно-магнетитовых окатышей из качканарского концентрата с использованием твердого топлива. / Леонтьев Л.И., Ефимов А.Л., Шаврин С.В. и др. // В сб.: Окускование железных руд и концентратов. Свердловск: - 1975 - № 2 – С. 80 – 92.

#### REFERENCE

1. Movchan V.P. Berezhnoj N.N., Kovalev D.A. Perspektivy ispolzovaniya kamennyh uglej pri podgotovke metallurgicheskogo syrya. //Sovremennaya metallurgiya nachala novogo tysyacheletiya: sb. nauchn. tr. – chast 1. – Lipeck: LGTU – 2001- 149.
2. Tehnologiya proizvodstva oflyusovannyh zhelezorudnyh okatyshej s vodom v shihu tverdogo topliva. / V.P. Movchan, N.E. Pugach, O.P. Litvinov i dr. // Gornyj zhurnal. – 2002. - № 6 – S. 58 – 59.
3. Effektivnost ispolzovaniya pyleugolnogo topliva v domennyh cehah Ukrainy / Pliskanovskij S. T., Ben T. G., Prihodko Yu.A i dr. // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost. – 1996 - № 1 – S. 8 – 12.
4. Movchan V.P. Vliyanie dobavok antracita v shihu na zapylennost gazopotokov pri obzhige okatyshej // Razrabotka rudnyh mestorozhdenij. Nauchno-tehnicheskij sbornik. – Vypusk № 79. –Krivoy Rog – 2002 – S. 72 – 76.
5. Movchan V.P. Osobennosti formirovaniya othodyashih gazov pri aglomeracii. // Razrabotka rudnyh mestorozhdenij. Nauchno-tehnicheskij sbornik (k 80-letiyu KTU) – Krivoy Rog – 2002 – S. 145 – 148.
6. Voronov E.M., Mesheryakova N.I., Delyagin P.N. Ispolzovanie nizkokachestvennyh uglej dlya obzhiga zhe-lezorudnyh okatyshej // Byulleten nauchno-tehnicheskoy informacii – Chermetinformaciya «Chernaya metallurgiya» - 1979 - № 5 – S. 6 – 19.
7. Allis Challers F. Ispolzovanie uglej vzamen prirodnogo gaza na ustanovke reshetka-trubchataya pech. // Trudy simpoziuma po ispolzovaniyu tverdogo topliva pri obzhige okatyshej. Krivoy Rog. – 1982.
8. Elinzon M.P., Vasilkov S.G. Toplivosoderzhashie othody v proizvodstve stroitelnyh materialov. M.: Strojizdat. – 1980. – S. 223.
9. Metallurgicheskie svojstva granul, poluchennyh himiko-kataliticheskim metodom. / Chernyshev A.M., Gess B.A., Kiselev G.P. // Sb. trudov «Novye metody podgotovki toplivnyh i toplivno-rudnyh materialov i ih metallurgicheskaya pererabotka». M.: Izdatelstvo AN SSSR. – 1963 – t. XXII – S. 39 – 49.
10. Berezhnoj N.N., Gubin G.V., Drozhilov L.A. Okomkovanie tonkoizmelchennyh koncentratov zheleznyh rud. M.: «Nedra». – 1971. – 176 s.
11. Berezhnoj N.N., Bulychev V.V., Kostin A.I. Proizvodstvo zhelezorudnyh okatyshej. M.: «Nedra» - 1977. - с.
12. Hasanak N.A. The manufacture of basic pellets and their behavior in the blast furnace. // Iron mining Proceeding. - 1976 - № 35 – R. 144 – 153.
13. G.Fon Struve. Novoe v razvitii processa Lurgi-Dravo dlya proizvodstva zhelezorudnyh okatyshej// Aufboraitung Technik. – 1973 – 14. - № 12 – S. 783 – 788.

14. Apple by John, Shaw George. Uglерodistyе dobavki v processe proizvodstva okatyshej. // Skill Mining Rev. – 1986 – 75 - № 10 – R. 4 – 11.
15. Ocenka rashoda topliva na obzhig zhelezorudnyh okatyshej / Majzel G.M., Abzalov V.M., Butkarev A.P. i dr. // Stal. – 1978 - № 7 – S. 585 – 587.
16. Desmenles. T. Effektivnost dobavki tverdogo topliva v shihtu okomkovaniya. Canadian Mining and Metallurgicall Bulletin. – 1983 – v. 76. - № 856 – R. 91 – 95.
17. Machkovskij A.I., Seleznev A.E. Okuskovanie zhelezorudnyh koncentratov. M.: Metallurgizdat. – 1961 – 136 s.
18. Kozhevnikov I.Yu. Beskoksovaya metallurgiya zheleza. M.: Metallurgiya. – 1970 – 336 s.
19. Razrabotka tehnologii proizvodstva vyustitno-magnetitovyh okatyshej iz kachkanarskogo koncentrata s ispolzovaniem tverdogo topliva. / Leontev L.I., Efimov A.L., Shavrin S.V. i dr. // V sb.: Okuskovanie zheleznyh rud i koncentratov. Sverdlovsk: - 1975 - № 2 – S. 80 – 92.

*Стаття постувила: 20.03.2019*