

**Ю.С. Семенов**, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0003-2299-5742

**Є.І. Шумельчик**, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0001-5350-6425

**В.В. Горупаха**, наук.співр., ORCID 0000-0003-0531-1871

*Інститут чорної металургії ім. З.И. Некрасова НАН України*

## **РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ПІДХОДІВ ДО ДІАГНОСТИКИ ТА УПРАВЛІННЯ ДОМЕННОЮ ПЛАВКОЮ**

**Анотація.** Для умов перехідних режимів доменної плавки з метою забезпечення її стабільності при зміні якісного і кількісного складу компонентів шихтових матеріалів, а також при зміні паливних добавок в дутті науково обгрунтовано комплексне використання інформації сучасних засобів автоматизованого контролю: стаціонарних термозондів і термопар футерівки по висоті і окружності доменної печі. Розроблено нові підходи до вибору раціональних програм завантаження, що використовують принцип формування змінного максимуму рудного навантаження уздовж радіусу печі в рамках циклу завантаження для умов роботи на шихті низької якості. Реалізація такої програми завантаження протягом наступних трьох років дозволила забезпечити стабільний і економічний хід плавки, а її адаптація під технологію використання пиловугільного палива дозволила зменшити температури газового потоку периферійної зони по всій висоті доменної печі, а також забезпечити збереження системи охолодження при освоєнні пиловугільного палива без футерівки. Розроблений та реалізований на трьох доменних печах експертний модуль коригування програми завантаження з використанням встановлених раціональних діапазонів зміни температурних показників розподілу газового потоку по радіусу печі в різних технологічних умовах доменної плавки. Розроблений і випробуваний метод обгрунтованого вибору розташування закритих повітряних фурм або повітряних фурм різного діаметру з використанням інформації про зміну температур футерівки по висоті і окружності доменної печі. Удосконалений і впроваджений метод вирівнювання теоретичної температури горіння по окружності доменної печі створенням нерівномірної витрати пиловугільного палива по повітряних фурмах. Розроблено основні технологічні вимоги до задувки доменної печі після її тривалої зупинки без випуску «козлового» чавуну і вигрівання матеріалів з печі, використання яких перед і в процесі задувок доменних печей Єнакієвського металургійного заводу та Дніпровського металургійного комбінату після тривалої стоянки сприяли виведенню печей на задані планово-економічні показники, забезпечили при цьому збереження вогнетривкої футерівки, конструкцій і обладнання.

**Ключові слова:** доменна піч, програма завантаження, БЗП, термозонд, якість коксу, пиловугільне паливо, вміст окатишів в шихті, футерівка, задувка доменної печі.

**Посилання для цитування:** Семенов Ю.С., Шумельчик Є.І., Горупаха В.В. Розробка і впровадження нових підходів до діагностики та

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2019. - Вип.33*

*«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33*

*ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Выпуск*

управління доменною плавкою. //«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вип.33. – С.61-77. (In Ukrainian).  
DOI 10.52150/2522-9117-2019-33-61-77

**Сучасний стан проблеми.** Статтю представлено за матеріалами наукової роботи, удостоєної премії Президента України для молодих вчених у 2018 р. (Указ Президента України №419/2018 від 07.12.2018 р.) та монографії «Діагностика та управління доменною плавкою в змінних паливно-сировинних умовах» (2018 р., 260 с.) [1]. Сучасне доменне виробництво України, в порівнянні з провідними світовими виробниками чавуну: Китаєм, Японією та Індією, знаходиться в складному становищі – в умовах постійного зниження собівартості виплавки чавуну без необхідного обсягу інвестицій, спрямованого на модернізацію та реалізацію довгострокових інноваційних проектів, що дозволили б зайняти більш високі позиції в світовому рейтингу. Зниження собівартості виробництва чавуну здійснюється шляхом використання низькоякісних залізородної сировини і коксу, а також при повній або частковій відмові від коштовного природного газу з переходом на технологію вдування пиловугільного палива (ПВП) [1–4]. В окремі періоди роботи доменних печей (ДП), у випадках зниження інтенсивності плавки з тих чи інших, часом кон'юнктурних, причин, переходять на технологію без природного газу із зволоженням дуттям, яка сприяє суттєвій витраті коксу на виплавку чавуну.

**Мета роботи.** З метою виходу на прийнятні техніко-економічні показники плавки в такій ситуації актуальним стає розробка нових ефективних способів управління процесами доменної плавки в сформованих змінних шихтових і паливних умовах, а також в перехідні періоди роботи. Використання цих методів дозволяє отримати прийнятні техніко-економічні показники доменної плавки в сучасних умовах виробництва чавуну. Необхідною умовою розробки нових способів управління є оснащення доменних печей сучасними засобами контролю процесів (стаціонарні термозонди, термопари футерівки шахти, розпару та заплечиків тощо), на підставі інформації яких встановлені нові залежності і зв'язки, що пояснюють протікання в об'ємі доменної печі різних процесів.

**Основні результати дослідження.** Представлені в першій частині статті дослідження і розробки виконані на ДП №3 Єнакієвського металургійного заводу (ЄМЗ) (корисний об'єм 1719 м<sup>3</sup>, безконусний завантажувальний пристрій (БЗП), 24 повітряні фурми) протягом періоду її роботи після реконструкції: з жовтня 2011 по грудень 2016 р. [1, 3–24]. Вибір ДП №3 в якості основного об'єкта досліджень обумовлений застосуванням на ній технології зі змінним якісним і кількісним складом шихтових матеріалів в різних газо-дуттєвих і паливних режимах роботи. Так, в досліджуваних періодах роботи ДП №3 були використані різні паливні добавки до дуття в широких діапазонах їх зміни. На доменних печях використовували технології: з природним газом в дутті, без паливних добавок (т.зв. технологія на «безгазовій шихті») зі зволоженням дуттям, технологію спільної подачі природного газу і пиловугільного палива на початкових етапах освоєння ПВП, а також з витратами ПВП до 130 кг/т чавуну. Склад шихтових

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вип.33*

*«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33*

*ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Vypusk*

матеріалів характеризувався багатокомпонентністю і змінною якістю. Так, наприклад, вміст окатишів в суміші з агломератом змінювався від 10 до 90%, агломерат використовувався як виробництва місцевої аглофабрики зі значною кількістю в ньому вторинних ресурсів, так і привізний. У складі шихти також використовували різноманітні добавки: залізну руду, вапняк, конвертерний шлак, брикети з відсіву окатишів, марганцевмісні добавки, що володіють ефектом промивок горна [26]. Якість коксу при цьому змінювалась в широкому діапазоні, використовували кокс як місцевого виробництва, так і привізний від широкого спектра постачальників.

Робота ДП №3 в таких умовах вимагала постійного коригування технології ведення доменної плавки: зміни режимів завантаження, забезпечення промивок горна для поновлення коксової насадки та коригування параметрів дуттєвого режиму. ДП №3 за рівнем оснащення сучасними засобами контролю відповідає світовим стандартам, що дозволяє з використанням їх інформації розробити нові методи контролю і управління доменної плавкою. Оснащення ДП №3 сучасним лотковим БЗП фірми «Paul Wurth» дозволило використовувати на печі різні варіанти режиму завантаження, спрямовані на підвищення техніко-економічних показників плавки в змінних умовах виробництва [5, 7–9]. БЗП фірми «Paul Wurth», встановлене на ДП №3, по ряду основних параметрів і конструктивних особливостей не має аналогів в Україні, цей апарат являє собою однотрактне БЗП, що передбачає можливість завантаження шихтових матеріалів з температурою до 400 °С.

В останній час доменне виробництво України, як взагалі вся металургійна галузь переживає важкі часи. Через брак сировини доменні цехи часто тривалий час простоюють. У зв'язку з чим, доменні печі зупиняють на термін, що перевищує допустимий, відповідно до вимог технологічних інструкцій ведення технології. У роботі представлені результати задувок доменних печей після їх тривалої зупинки із застосуванням нових удосконалених підходів, які дозволили безаварійно вивести печі на робочі показники [16]. Цей досвід, хоча і змушений, однак, на жаль, є актуальним для сучасних реалій виробництва чавуну в Україні.

### **Науково-технічні результати.**

Перед пуском ДП №3 ЄМЗ після її реконструкції виконано дослідження параметрів потоків шихтових матеріалів, що завантажуються в піч за допомогою БЗП, розподілу маси порцій і їх компонентів на колошнику, визначені витратні характеристики шихтового затвору бункера БЗП, а також дослідження формування профілю поверхні засипу шихти, гранулометричного і компонентного складів шару залізовмісних матеріалів по радіусу колошника. Виконаний комплекс досліджень дозволив після задувки печі визначити і реалізувати режими роботи механізмів БЗП, необхідні для ефективного застосування раціональних програм завантаження доменної печі [1, 5].

Розроблено та реалізовано на ДП №3 модельну систему для підтримки прийняття рішень по вибору і коригуванню програм завантаження, що дозволяє технологічному персоналу приймати адекватні

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вып.33*

*«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33*

*ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Выпуск*

управляючі рішення по зміні режимів завантаження печі. Крім основної функції, використання системи націлене було також на навчання технологічного персоналу в умовах освоєння нового завантажувального пристрою [1, 6].

В умовах нестабільної якості шихтових матеріалів розроблено новий підхід до вибору раціональних програм завантаження БЗП, заснований на зменшенні кількості робочих кутових положень лотка і зміщенні від порції до порції в рамках циклу завантаження умовних «гребенів» (максимумів рудного навантаження) уздовж радіуса колошника. Позитивний досвід реалізації такої програми завантаження показаний на прикладі ДП №3 ЄМЗ, де понад три роки (з 2013 р.) вона з деякими коригуваннями використовувалася і забезпечувала поряд з іншими заходами високі техніко-економічні показники. На підставі запропонованого підходу були також розроблені та реалізовані варіанти програми завантаження для роздувочного періоду печі і для режимів роботи з високим вмістом окатишів в складі шихти [1, 8, 9, 17, 23, 24].

Запропонована методика вибору раціональних кутів нахилу розподільного лотка БЗП при зміні конфігурації його футерівки. Розроблено заходи з оперативного управління периферійним газовим потоком, в тому числі при переході на технологію вдування пиловугільного палива. Розроблено та реалізовано рекомендації з управління окружним розподілом шихтових матеріалів на ДП, які дозволили зменшити нерівномірність температур футерівки верхніх горизонтів шахти доменної печі. Сформульовані і внесені доповненням в технологічну інструкцію по доменному виробництву вимоги до програми завантаження задувочної шихти після проведення капітального ремонту з шоткретуванням шахти [1, 9, 24].

Розроблено вимоги до розподілу газового потоку по радіусу печі, необхідні при його регулюванні в умовах вдування в горн ПВП для досягнення заданих або високих техніко-економічних показників плавки. Показано, що при управлінні газорозподілом по радіусу печі при вдуванні в горн ПВП необхідно забезпечити достатню газопроникність периферійної зони, не допускаючи зайвого навантаження її залізородними матеріалами, забезпечити розвинений центральний газорозподіл з одночасним розвиненим взаємним перетіканням газів між периферією і центром, при розвиненому центральному газорозподілі для підвищення економічності плавки необхідно забезпечити вузьку осьову коксову віддушину [1, 3, 13, 14].

Освоєння технології вдування ПВП на ДП ЄМЗ в змінних шихтових умовах і з роботою на коксі зниженої якості при використанні раціональних режимів завантаження, формування порцій і раціонального

шлакового режиму дозволили в 2016 р. довести витрату ПВП, в середньому, до 130 кг/т чавуну. Оперативний контроль показань термопар футерівки дозволив своєчасно здійснювати як гарнісажуєтворюючі заходи, так і коригувати розподіл компонентів шихтових матеріалів по радіусу і окружності печі. Реалізація змін програми завантаження згідно до розроблених вимог і режиму формування порцій дозволила при роботі ДП без футерівки на початковому етапі освоєння ПВП знизити температури периферійного газового потоку по всій висоті печі, в середньому, на 13% і зменшити окружну нерівномірність температур на 11%. Використання в технології раціональних режимів завантаження при вдуванні ПВП дозволило до шоткретування забезпечити експлуатаційну стійкість системи охолодження і безаварійну роботу доменних печей [1, 3].

Встановлено особливості зміни температури над поверхнею засипу шихти в залежності від витрати палива та вмісту окатишів в пристінній зоні, що відкриває можливість подальшого використання інформації термозондів для оперативного управління газовим потоком. Інформація, що отримується від стаціонарних термозондів, дозволяє контролювати вміст окатишів в периферійній зоні печі, що вкрай важливо при формуванні захисного гарнісажу в печі [1, 11, 14, 23].

В результаті досліджень встановлено відсутність впливу на характер розподілу температур газового потоку над поверхнею засипу по радіусу печі температури доменної шихти при її завантаженні, як в цілому, так і в окремих зонах перерізу печі по радіусу, температури газового потоку збільшуються пропорційно збільшенню кількості гарячого агломерату у складі шихти. Отримані результати дозволяють використовувати інформацію термозондів для управління завантаженням при різному компонентному складі шихтових матеріалів [1, 11, 14, 23].

Розроблено температурні показники розподілу газового потоку по радіусу доменної печі. Показники характеризують чотири основні характеристики температури газового потоку над поверхнею шихти: інтенсивність периферійного газового потоку, інтенсивність осьового газового потоку, газопроникність проміжної зони, ширину осьової коксової віддушини. Для ДП №3 з БЗП і ДП №5 з конусним завантажувальним пристроєм (КЗП) встановлені їх оптимальні діапазони зміни при роботі доменних печей в різних газодинамічних і паливних умовах: при роботі з використанням в дутті збільшеної кількості водяної пари (на т.зв. «безгазовій шихті»), з природним газом, з природним газом та пиловугільним паливом, окремо з пиловугільним паливом. На основі запропонова

Виконано аналіз динаміки зміни температур футерівки заплечиків, розпару і шахти ДП №3 за п'ять років її експлуатації – з грудня 2011 р. по

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вып.33*

*«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33*

*ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Выпуск*

вересень 2016 р. В результаті аналізу зміни температур футерівки виявлені технологічні чинники, що впливають на середньомісячні значення температури футерівки ДП. Так, на температури футерівки верхньої зони в більшій мірі впливає знос футерівки, на температури футерівки нижньої зони – формування стійкого гарнісажу. Встановлено фактори, що впливають на зміну середньоквадратичних відхилень температур футерівки по окружності печі: якість залізовмісних матеріалів і коксу, програма завантаження печі і режим формування порцій, захарашення горна і використання промивних матеріалів, параметри дутевого режиму з використанням різних паливних добавок, знос футерівки [1, 10, 12, 21].

Визначено граничні значення середньомісячних температур, які свідчать про частковий (~50%) або повний знос футерівки шахти, а також граничні значення температур нижньої зони печі, які характеризують наявність стійкого гарнісажу. Встановлено, що середньомісячна температура футерівки середини і верху шахти – 375–400 °С свідчить про її знос на ~50% (підтверджено геодезичними вимірюваннями двічі – в середині 2013 р., та на початку 2016 р.), потім руйнування футерівки сповільнюється. При перевищенні середньомісячної температурою значення 450 °С, як показали дві кампанії ДП, футерівка середини і верху шахти повністю відсутня. При середньомісячній температурі футерівки низу шахти, розпару та заплечиків – 300 °С має місце утворення в нижній зоні печі нестійкого гарнісажу, що вимагає прийняття рішень щодо коригування складу і режиму формування порцій шихти. Перевищення температурою футерівки нижньої зони значення 350 °С свідчать про повну відсутність захисного гарнісажу та (або) футерівки [1, 12, 21].

Прийнято, що одним з показників стабільного ходу печі можуть бути середньоквадратичні відхилення температур футерівки по окружності печі. Встановлено, що при порушеннях ходу печі середньоквадратичні відхилення температур перевищують величину  $0,2 \cdot T_{\text{СЕР}}$ , де  $T_{\text{СЕР}}$  – середньомісячна температура футерівки шахти. Так, для рівнів установки термопар футерівки середини і верху шахти ДП №3 величина середньоквадратичного відхилення температур по окружності печі не повинна перевищувати 60 °С, а допустима межа середньоквадратичного відхилення температур футерівки низу шахти, розпару та заплечиків становить 40 °С [1, 12].

Виконано аналіз зміни температур, що реєструються термопарами футерівки шахти в періодах роботи доменної печі при практично повному зносі футерівки. Дана температура була ідентифікована як температура периферійного газового потоку і аналіз її зміни було виконано при роботі доменної печі в різних газодинамічних і паливних умовах: на «безгазовій

шихті», з природним газом, з природним газом і пиловугільним паливом, з пиловугільним паливом. У досліджуваних різних газодинамічних і паливних умовах визначено екстремум кривої зміни температури периферійного газового потоку в нижній частині доменної печі, який прийнятий за положення кореня зони в'язко-пластичного стану. Результати, отримані раніше німецькими дослідниками свідчать на користь цієї гіпотези [1, 15].

Розроблений і випробуваний метод обґрунтованого вибору розташування закритих повітряних фурм або повітряних фурм різного діаметру з використанням інформації про зміну температур футерівки по висоті і окружності доменної печі. В дослідних періодах роботи ДП №3, при використанні методу, в результаті зміни розташування закритих фурм зменшилися як окружна нерівномірність температур футерівки, так і середні значення температур. Так, середня температура футерівки низу шахти, розпару та заплечиків зменшилася на 33 °С – від 264 до 231 °С, а температура футерівки середини і верху шахти зменшилася на 88 °С – від 476 до 388 °С, що обумовлено перерозподілом інтенсивності газового потоку. Крім того, в результаті використання запропонованого методу перерозподіл газового потоку сприяв зменшенню питомої витрати коксу на 1,7% при практично незмінних витратах ПВП і коксового горіха, температури дуття, а також якісних та кількісних характеристик залізорудної сировини та коксу [1, 18].

Розроблено основні технологічні вимоги до задувки ДП №3 і ДП №5 після їх тривалих зупинок [1, 16]. На підставі позитивного досвіду таких задувок після тривалих, понад нормативного часу, стоянок без випуску «козлового» чавуну і вигрібання матеріалів з печі, сформульовані наступні основні вимоги до задувки:

- зменшене, в порівнянні з традиційним, рудне навантаження на об'єм задувочної шихти (~ 0,10–0,15 т/т);
- використання в шихті першого об'єму і перших робочих шихт легкоплавких матеріалів невисокої основності (наприклад, доменний шлак 50–100%, плавиковий шпат в перших шихтах), в тому числі, передбачити можливість подачі легкоплавких матеріалів через повітряні фурми;
- секторна задувка з боку розташування чавунної льотки на малій кількості повітряних фурм (на початку задувки 1–2 фурми), забезпечення до початку задувки впевненого прогріву по висоті льотка-повітряна фурма, шляхом установа в чавунну льотку труб, через які подається природний газ і повітря для його горіння, забезпечення швидкості потоку дуття на виході з повітряної фурми не менше 150 м/с;

- низька інтенсивність нарощування газодуттєвих параметрів на початковому етапі задувки (витрата 1 м<sup>3</sup> дуття/м<sup>3</sup> об'єму на 5–7 добу та нарощування 1,6–1,8 м<sup>3</sup> дуття/м<sup>3</sup> об'єму через 10–15 діб);

- низька інтенсивність відкриття повітряних фурм в одному секторі (по 1–2 фурми на добу до досягнення 50% відкритих фурм через 7–10 днів) та перехід до секторного окружного відкриття фурм до кількості 75%, тривалістю 3–5 діб при забезпеченні нарощування кількості проплавляємої шихти і газодинамічних параметрів дуття;

- зменшене, в порівнянні з прийнятим, рудне навантаження перших робочих шихт при пониженому вмісті заліза в шихті (1,0–1,5–2,0 т/т, що забезпечує утримання вмісту кремнію в чавуні ~ 5,0% в перші три доби, перехід на ливарний чавун в наступні 2–4 доби).

Заходи, виконані перед і в процесі задувок доменних печей Єнакієвського металургійного заводу після тривалої стоянки сприяли виведенню печей на задані планово-економічні показники, забезпечили при цьому збереження вогнетривкої футерівки, конструкцій і обладнання.

**Наукова новизна результатів.** Обґрунтовано новий підхід до вибору раціональних програм завантаження, що забезпечує стабільний економічний хід доменної печі при зміні технологічних умов плавки; вперше розроблені температурні показники оцінки розподілу газового потоку по радіусу печі, встановлено їх раціональні діапазони зміни при роботі в різних газодинамічних і паливних умовах, вперше сформульовані вимоги до розподілу температур газового потоку по радіусу печі; вперше на основі аналізу температур футерівки по висоті печі протягом п'яти років її експлуатації встановлені граничні значення температур, при яких футерівка середини і верху шахти частково або повністю вироблена, для футерівки низу шахти, розпару і заплечиків встановлені: температура, яка свідчить про утворення в нижній зоні печі нестійкого захисного гарнісажу і температура, що характеризує повну його відсутність; вперше досліджено вплив дуттєвого режиму при використанні в ньому збільшеної кількості водяної пари, природного газу, природного газу із пиловугільним паливом та окремо пиловугільного палива на зміну форми кривої розподілу температури периферійного газового потоку по висоті печі від фурменої зони до колошника, що стало передумовою для розробки методу ідентифікації межі зони в'язко-пластичного стану в периферійній зоні печі.

**Подальший розвиток досліджень.** Після втрати Україною контролю над металургійними підприємствами, розташованими в окремих районах Донецької та Луганської областях, багаторічне співробітництво з Єнакієвським металургійним заводом було припинено. Подальший розвиток представлених досліджень було отримано на Дніпровському



металургійному комбінаті (ДМК) (м. Кам'янське, Дніпропетровської області) починаючи з вересня 2017 р. До доменного цеху ДМК входять три доменні печі: ДП №1М (корисний об'єм 1500 м<sup>3</sup>, КЗП, 20 повітряних фурм), №9 (корисний об'єм 1386 м<sup>3</sup>, КЗП, 18 повітряних фурм) та №12 (корисний об'єм 1386 м<sup>3</sup>, КЗП, 16 повітряних фурм).

За два роки виконання науково-дослідних робіт на ДМК було отримано наступні основні науково-технічні результати.

Вперше в Україні розроблено та впроваджено комплекс заходів щодо забезпечення раціонального розподілу ПВП по повітряним фурмам [1,25]. Виконано виміри теплових навантажень на охолоджуваних елементах фланців підвішеного (рухомого) коліна фурменого приладу, що дозволили оцінити окружний розподіл теплового стану фурменої зони за показником теоретичної температури горіння і для її вирівнювання реалізувати спрямовану нерівномірність витрати ПВП. В результаті визначення нерівномірності витрати дуття на досліджуваних доменних печах встановлено визначальний вплив конфігурації підводу тракту гарячого дуття в місці врізки в кільцевий трубопровід, що призводить до утворення постійної зони зі зниженою витратою дуття на окремих повітряних фурмах. Ефективність тривалого дослідно-промислового впровадження спрямованої нерівномірності витрати ПВП по окружності доменних печей з метою створення рівномірного окружного розподілу теоретичної температури горіння, склала: на ДП №12 – 4,7% економії приведені витрати коксу при зменшенні на 12% коливання вмісту кремнію в чавуні на випуску та на ДП №1М – 3,9% економії питомої витрати коксу при зменшенні температури периферійного газового потоку на 100–120 °С. При цьому ефективність впровадження нерівномірності розподілу ПВП на ДП №12 спостерігалась при роботі з кількістю ПВП в дутті до 120 кг/т чавуну [25], що в тому числі, сприяло в подальшому впровадити за рекомендацією ІЧМ збільшення діаметру повітряних фурм від 140 до 150 мм. На ДП №1М тенденція зниження температури периферійного газового потоку спостерігалась до періоду роботи печі без збагачення дуття киснем, що було обґрунтовано економічними чинниками і погіршило роботу печі. Для ефективного контролю розподілу дуття по повітряним фурмам доменної печі і подальшої зміни розподілу ПВП по окружності печі з метою вирівнювання або створення заданої нерівномірності теоретичної температури горіння рекомендовано впровадження системи автоматизованого контролю, яка включає установку на кожний фурменний прилад витратоміра води, що надходить на охолоджувані елементи фланців підвішеного (рухомого) коліна фурменого приладу, термопари на ділянці зливного трубопроводу після охолодження і підсистеми візуалізації інформації зміни теплових

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вып.33*

*«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33*

*ISSN 2522-9117 «Fundamentalnye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Выпуск*

навантажень, витрат пилувугільного палива, фактичної і рекомендованої теоретичної температури горіння.

Для умов ДП №9 ДМК, обладнаної конусним завантажувальним пристроєм, встановлені оптимальні діапазони зміни температурних показників оцінки розподілу газового потоку по радіусу для періодів роботи ДП №9 при вдуванні ПВП від 130 до 160 кг/т чавуну [19, 20]. Розроблено і пройшов дослідно-промислове випробування експертний модуль системи термозондів (по аналогії з реалізацією експертного модуля на доменних печах ЄМЗ), що генерує коригувальні дії режиму завантаження.

В умовах ЄМЗ з лютого 2013 р. і ДМК з березня 2019 р. відпрацьована технологія використання в складі доменної шихти марганцевмісних матеріалів (брикетів і підготовленого концентрату), що надає один з найбільших промивних ефектів при їх раціональному формуванні в циклі завантаження подач і сприяє підтримці технологічної стійкості роботи доменної печі в умовах низької і нестабільної якості шихтових матеріалів і при вдуванні великої кількості ПВП, а також розширює можливості застосування технологічних прийомів і заходів для зниження витрати коксу, таких як введення в шихту коксового горіха до 25–40 кг/т чавуну. Встановлено, що з введенням в шихту марганцю знижується коливання теплового стану, виражене в зменшенні середньоквадратичного відхилення кремнію в чавуні, зменшується витрата коксу на 4%. Встановлено, що при виробництві чавуну раціональним діапазоном вмісту марганцю в чавуні є 0,25–0,35% [26].

В умовах браку коксівного і слабкоспівкливого вугілля у галузі влітку 2019 р. відпрацьована технологія спільного використання пилувугільного палива і природного газу. Практично доведена ефективність цієї технології, яка сприяє збільшенню температури вугільного пилу за рахунок більш раннього його займання і виділення теплоти від спалювання. У зв'язку з конструктивними особливостями повітряних фурм в доменному цеху (один підвід природного газу з максимально можливою витратою 360 м<sup>3</sup>/год) було прийнято рішення на ДП №1М природний газ подавати через одну повітряну фурму на спис введення ПВП (580 м<sup>3</sup>/год), на інші фурми подавалося 360 м<sup>3</sup>/год через наявний підвід і 1,0 т/год ПВП. На ДП №12 на всі повітряні фурми подавалося до 360 м<sup>3</sup>/год природного газу і 0,7 т/год ПВП. В результаті промислового впровадження технології спільного використання ПВП і природного газу встановлено оптимальне співвідношення паливних добавок в дутті: ПВП – 110–120 кг/т чавуну, та природного газу – 40–50 м<sup>3</sup>/т чавуну. Ефективність цієї технології склала 3% економії питомої витрати коксу при збільшенні коефіцієнтів заміни коксу природним газом від 0,80 до

0,93 од. Слід зазначити, що ефективність спільного використання ПВП та природного газу була отримана при погіршенні якості вугілля, що використовувався для ПВП, за рахунок використання антрацитового вугілля. Так, в середньому, кількість летючих речовин вугілля зменшилася від 19,4 до 16,5 % при збільшенні стандартного відхилення цього показника від 0,24 до 0,38 %.

В умовах кризи металургійної галузі у 2019 р. дві доменні печі ДМК були зупинені на термін, що перевищує допустимий (45 діб) без попереднього випуску залишкового («козлового») чавуну. Так, доменна піч №9 була зупинена на 147 діб, доменна піч №12 – на 110 діб. Завдяки використанню розроблених ІЧМ рекомендацій щодо задувок [1, 16], доменні печі наприкінці 2019 р. було безаварійно введено в експлуатацію з досягненням планових показників.

### **Висновки.**

З метою забезпечення стабільності доменної плавки при зміні якісного і кількісного складу компонентів шихтових матеріалів, а також при зміні паливних добавок в дутті, науково обгрунтовано комплексне використання інформації сучасних засобів автоматизованого контролю: стаціонарних термозондів і термопар футерівки по висоті і окружності доменної печі. Для виявлення нових закономірностей і зв'язків процесів з подальшим їх застосуванням, для обгрунтування вибору управляючих впливів також запропоновано новий підхід до вибору енергоефективних режимів завантаження. На підставі наведених основних положень задувок, з урахуванням підготовчих заходів і технологічних особливостей, розроблено регламент задувок доменних печей після тривалих зупинок без попереднього випуску «козлового» чавуну, які внесені доповненням в технологічну інструкцію по доменному виробництву. Вперше в Україні розроблено та впроваджено комплекс заходів щодо забезпечення раціонального розподілу ПВП по повітряним фурмам. Ефективність дослідно-промислового впровадження спрямованої нерівномірності витрати ПВП по окружності доменних печей з метою створення рівномірного окружного розподілу теоретичної температури горіння, склала 3,9–4,7% економії приведеної витрати коксу. В умовах двох металургійних підприємств відпрацьована технологія використання в складі доменної шихти марганцевмісних матеріалів, що надає один з найбільших промивних ефектів в умовах низької і нестабільної якості шихтових матеріалів і при вдуванні великої кількості ПВП. Встановлено, що з введенням в шихту марганцю знижується коливання теплового стану, виражене в зменшенні середньоквадратичного відхилення кремнію в чавуні, збільшується виробництво чавуну на 4%, зменшується витрата

коксу на 1,5%. Встановлено, що при виробництві чавуну раціональним діапазоном вмісту марганцю в чавуні є 0,30–0,35%.

### **Перелік повилань**

1. Семенов Ю.С., Шумельчик Є.І., Горупаха В.В. Діагностика та управління доменною плавкою в змінних паливно-сировинних умовах – Дніпро: Домінанта Принт, 2018. – 260 с.
2. Большаков В.И. Применение в Украине технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива / Сборник научных трудов ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – 2011. – Вып. 23. – С. 30–36.
3. Podkorytov A.L., Kuznetsov A.M., Zubenko A.V., et al. Introduction of Pulverized-Coal Injection at Yenakieve Iron and Steel Works / Steel in Translation, 2017. – Vol. 47, No. 5, pp. 313–319. <https://doi.org/10.3103/S0967091217050102>
4. Можаренко Н.М., Семенов Ю.С., Горупаха В.В., Шумельчик Е.И. Особенности технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива / Металлургическая и горнорудная промышленность, 2017. – № 5 – С. 2–9.
5. Bolshakov V.I., Semenov Yu.S., Ivancha N.G., et al. Study of the Flow of Burden Materials and their Distribution on the Furnace Top of a Modern Blast Furnace / Metallurgical and Mining Industry, 2012. – Vol. 4, No. 3, pp. 158–165.
6. Semenov Yu.S., Shumelchik E.I., Vishnyakov V.I., et al. Model system for selecting and correcting charging programs for blast furnaces equipped with a bell-less charging apparatus / Metallurgist, January 2013, Volume 56, Issue 9-10, pp. 652-657. <https://doi.org/10.1007/s11015-013-9630-3>
7. Bolshakov V.I., Semenov Yu.S., Kuznetsov A.M. The Experience of the Implementation of Modern Blast Furnace Equipped with Bell-Less Top Charging Device under Conditions of Changing Quality of Charge Materials / Metallurgical and Mining Industry, 2013. – Vol. 5, No. 2, pp. 56–64.
8. Семенов Ю.С. Выбор рациональных режимов загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ, для условий работы с малой массой подачи и с нестабильным качеством шихтовых материалов / «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия», 2013. – № 12. – С. 14–19.
9. Большаков В.И., Семенов Ю.С., Шумельчик Е.И. и др. Реализация энергосберегающей технологии загрузки современной доменной печи в конъюнктурных топливно-сырьевых и технологических условиях / Металлургическая и горнорудная промышленность, 2014. – № 6 – С. 6–14.
10. Semenov Yu.S., Mozhareno N.M., Gorupakha V.V., et al. Effect of the Fuel, Raw Materials, and Process Conditions on the Behavior of Temperature Change in a Blast-Furnace Lining / Metallurgist, July 2015, Vol. 59, Issue 3–4, pp. 290–299. <https://doi.org/10.1007/s11015-015-0099-0>
11. Большаков В.И., Семенов Ю.С., Шумельчик Е.И., и др. Использование информации о температуре над поверхностью засыпи шихты для контроля доменной плавки / Металлургическая и горнорудная промышленность, 2015. – № 3 – С. 2–7.

12. Semenov Yu.S., Shumel'chik E.I., Gorupakha V.V., et al. Monitoring Blast Furnace Lining Condition During Five Years of Operation / Metallurgist, July 2017, Vol. 61, Issue 3–4, pp. 291–297. <https://doi.org/10.1007/s11015-017-0491-z>
13. Нестеров А.С., Семенов Ю.С., Горупаха В.В. и др. Исследование процесса формирования жидких фаз при вдувании пылеугольного топлива в переменных шихтовых условиях / «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия», 2017. – № 5. – С. 24–28.
14. Semenov Yu.S., Shumelchik E.I., Horupakha V.V., et al. Using Thermal Probes to Regulate the Batch Distribution in a Blast Furnace with Pulverized-Coal Injection / Steel in Translation, 2017. – Vol. 47, No. 6, pp. 389–393. <https://doi.org/10.3103/S0967091217060092>
15. Semenov Yu.S. Temperature Distribution of the Gas Flux in Blast Furnaces – Steel in Translation, 2017. – Vol. 47, No. 7, pp. 473–477. <https://doi.org/10.3103/S0967091217070117>
16. Семенов Ю.С. Основные положения задувки доменной печи после остановки продолжительностью более 80 суток без выпуска козлового чугуна / Ю.С. Семенов, В.В. Горупаха, Е.И. Шумельчик – Черные металлы, 2017. – № 11. – С. 28–36.
17. Semenov Yu.S., Shumel'chik E.I., Gorupakha V.V. Efficient Management of the Charging of Blast Furnaces and the Application of Contemporary Means of Control Over the Variable Technological Conditions / Metallurgist, March 2018, Vol. 61, Issue 11–12, pp. 950–958. <https://doi.org/10.1007/s11015-018-0591-4>
18. Semenov Yu.S., Shumelchik E.I., Horupakha V.V. Blast Furnace Shaft Thermal State Monitoring System / Steel in Translation, 2017. – Vol. 47, No. 11, pp. 728–731. <https://doi.org/10.1007/s11015-018-0591-4>
19. Semenov Yu.S., Shumelchik E.I., Horupakha V.V. Expert Module of the Thermal Probe System for Blast Furnace Charging Control / Steel in Translation, 2018. – Vol. 48, No. 12, pp. 802–806. <https://doi.org/10.3103/S0967091218120136>
20. Семенов Ю.С. Использование информации термозондов для управления загрузкой доменной печи / Металлургическая и горнорудная промышленность, 2018. – № 7 – С. 208–215.
21. Horupakha V.V., Semenov Yu.S., Shumelchik E.I., Vyshinskaya E.D. Trends in the Engineering of Blast Furnaces in Modern Fuel and Raw Materials Conditions / Steel in Translation, 2019. – Vol. 49, No. 2, pp. 110–117. <https://doi.org/10.3103/S0967091219020086>
22. Horupakha V.V., Semenov Yu.S., Shumelchik E.I., Vashchenko S.V. Influence of Transient Blast Furnace Conditions on the Temperature in the Cooling System / Steel in Translation, 2019. – Vol. 49, No. 6, pp. 397–401. <https://doi.org/10.3103/S0967091219060056>
23. Семенов Ю.С. Новые подходы в управлении загрузкой доменной печи, оборудованной БЗУ, в современных условиях работы / Познание процессов и развитие технологии доменной плавки: коллективный труд второго международного симпозиума под научной редакцией д.т.н., проф. И.Г. Товаровского. – Днепр: ЖУРФОНД, 2016. – 382 с. (С. 272–285).
24. Большаков В.И., Семенов Ю.С., Шумельчик Е.И. и др. Освоение энергосберегающей технологии загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ, в «Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вып.33 «Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33 ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Выпуск

конъюнктурных топливно-сырьевых и технологических условиях / Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», 2014. – Вып. 28. – С. 57–80.

25. Эффективность реализации окружной неравномерности распределения ПУТ по воздушным фурмам доменной печи / [Ю.С. Семенов, В.В. Горупаха, И.Ю. Семион, А.Ю. Оробцов, Е.И. Шумельчик] – Черные металлы, 2019. – № 10. – С. 11–16.
26. Experience of Using Manganese-Containing Materials in Blast-Furnace Charge / [Yu.S. Semenov, V.V. Gorupakha, A.M. Kuznetsov, I.Yu. Semion, E.I. Shumel'chik, S.V. Vashchenko, A.Yu. Khudyakov] – Metallurgist, January 2020, Volume 63, Issue 9–10, pp. 1013–1023. <https://doi.org/10.1007/s11015-020-00920-1>

### References

1. Semenov Yu.S., Shumelchik E.I. & Horupakha V.V. (2018). *Diahnostyka ta upravlinnya domennoyu plavkoyu v zminnykh palyvno-syrovynnykh umovakh [Diagnostics and Management of Blast Furnace Smelting in Variable Fuel and Raw Materials Conditions]*. Dnipro: Dominanta Print, 2018, 260 p. (in Ukrainian).
2. Bol'shakov V.I. (2011). Primeneniye v Ukraine tekhnologii domennoy plavki s vduvaniyem pyleugol'nogo topliva [Application of blast furnace smelting technology with pulverized-coal injection in Ukraine]. *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii. Sb.nauchn.tr.ICHM [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. Collection of scientific articles ISI NANU]*, 2011, 23, 30–36. (In Russian).
3. Podkorytov A.L., Kuznetsov A.M. & Zubenko A.V. et al. (2017). Introduction of Pulverized-Coal Injection at Yenakieve Iron and Steel Works. *Steel in Translation*, 2017, Vol. 47, 5, 313–319. <https://doi.org/10.3103/S0967091217050102>
4. Mozhareno N.M., Semenov Yu.S., Horupakha V.V. & Shumelchik E.I. (2017). Osobennosti tekhnologii domennoy plavki s primeneniyyem pyleugol'nogo topliva [Features of Blast Furnace Technology With the Use of Pulverized-Coal Injection]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost' [Metallurgical and mining industry]*, 2017, 5, 2–9. (In Russian).
5. Bolshakov V.I., Semenov Yu.S. & Ivancha N.G. et al. (2012). Study of the Flow of Burden Materials and their Distribution on the Furnace Top of a Modern Blast Furnace. *Metallurgical and mining industry*, 2012, Vol. 4, 3, 158–165.
6. Semenov Yu.S., Shumelchik E.I. & Vishnyakov V.I. et al. (2013). Model system for selecting and correcting charging programs for blast furnaces equipped with a bell-less charging apparatus. *Metallurgist*, 2013, Vol. 56, 9–10, 652–657. <https://doi.org/10.1007/s11015-013-9630-3>
7. Bolshakov V.I., Semenov Yu.S. & Kuznetsov A.M. (2013) The Experience of the Implementation of Modern Blast Furnace Equipped with Bell-Less Top Charging Device under Conditions of Changing Quality of Charge Materials. *Metallurgical and Mining Industry*, 2013, Vol. 5, 2, 56–64.
8. Semenov Yu.S. (2013). Vybór ratsional'nykh rezhimov zagruzki domennoy pechi, oborudovannoy BZU, dlya usloviy raboty s maloy massoy podachi i s nestabil'ny'm «Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. – Вып.33 «Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33 ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnyye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Выпуск

- kachestvom shikhtovykh materialov [Selection of rational regimes of loading of a blast furnace equipped with cone-free charging devices for operation with low mass of supply and unstable quality of charge materials]. *Chermetinformatsiya. Byulleten' Chernaya metallurgiya [Ferrous Metallurgy Bulletin]*, 2013, 12, 14–19. (In Russian).
9. Bolshakov V.I. Semenov Yu.S. & Shumel'chik E.I. et al. (2014). Realizatsiya energosberegayushchey tekhnologii zagruzki sovremennoy domennoy pechi v kon"yunkturnykh toplivno-syr'yevykh i tekhnologicheskikh usloviyakh [Implementation of energy saving technology for a contemporary blast furnace under competitive fuel, raw material, and production conditions]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost' [Metallurgical and mining industry]*, 2014, 6, 6–14. (In Russian).
  10. Semenov Yu.S., Mozhareno N.M. & Gorupakha V.V., et al. (2015). Effect of the Fuel, Raw Materials, and Process Conditions on the Behavior of Temperature Change in a Blast-Furnace Lining. *Metallurgist*, 2015, Vol. 59, 3–4, 290–299. <https://doi.org/10.1007/s11015-015-0099-0>
  11. Bol'shakov V.I., Semenov Yu.S. & Shumel'chik E.I. et al. (2015). Ispol'zovaniye informatsii o temperature nad poverkhnost'yu zasypi shikhty dlya kontrolya domennoy plavki [The use of information on temperature over the surface of the charging bed to control blast furnace smelting]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost' [Metallurgical and mining industry]*, 2015, 3, 2–7. (In Russian).
  12. Semenov Yu.S., Shumel'chik E.I. & Gorupakha V.V. at al. (2017). Monitoring Blast Furnace Lining Condition During Five Years of Operation. *Metallurgist*, 2017, Vol. 61, 3–4, 291–297. <https://doi.org/10.1007/s11015-017-0491-z>
  13. Nesterov A.S., Semenov Yu.S., & Gorupakha V.V. et al. (2017). Issledovaniye protsessa formirovaniya zhidkikh faz pri vduvani pyleugol'nogo topliva v peremennykh shikhtovykh usloviyakh [Study of the process of liquid phase formation during injection of pulverized coal fuel under the variable charge condition]. *Chermetinformatsiya. Byulleten' Chernaya metallurgiya [Ferrous Metallurgy Bulletin]*, 2017, 5, 24–28. (In Russian).
  14. Semenov Yu.S., Shumel'chik E.I. & Gorupakha V.V. at al. (2017). Using Thermal Probes to Regulate the Batch Distribution in a Blast Furnace with Pulverized-Coal Injection. *Steel in Translation*, 2017. Vol. 47, 6, 389–393. <https://doi.org/10.3103/S0967091217060092>
  15. Semenov Yu.S. (2017). Temperature Distribution of the Gas Flux in Blast Furnaces. *Steel in Translation*, 2017, Vol. 47, 7, 473–477. <https://doi.org/10.3103/S0967091217070117>
  16. Semenov Yu.S., Horupakha V.V. & Shumelchik E.I. (2017). Osnovnyye polozheniya zaduvki domennoy pechi posle ostanovki prodolzhitel'nost'yu boleye 80 sutok bez vypuska kozlovogo chuguna [The basic conditions of blowing of a blast furnace after its durable stopping for more than 80 days without tapping of freezing iron]. *Chernye Metally [Ferrous metals]*, 2017, 11, 28–36. (In Russian).
  17. Semenov Yu.S., Shumel'chik E.I. & Gorupakha V.V. (2018). Efficient Management of the Charging of Blast Furnaces and the Application of Contemporary Means of Control Over the Variable Technological Conditions. *Metallurgist*, 2018, Vol. 61, 11–12, 950–958. <https://doi.org/10.1007/s11015-018-0591-4>

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. - Вип.33  
 «Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoj metallurgii». – 2019. – Vypusk  
 33

18. Semenov Yu.S., Shumel'chik E.I. & Gorupakha V.V. (2017). Blast Furnace Shaft Thermal State Monitoring System. *Steel in Translation*, 2017, Vol. 47, 11, 728–731. <https://doi.org/10.3103/S0967091217110092>
19. Semenov Yu.S., Shumel'chik E.I. & Gorupakha V.V. (2018). Expert Module of the Thermal Probe System for Blast Furnace Charging Control. *Steel in Translation*, 2018, Vol. 48, 12, 802–806. <https://doi.org/10.3103/S0967091218120136>
20. Semenov Yu.S. (2018). Ispol'zovaniye informatsii termozondov dlya upravleniya zagruzkoj domennoy pechi [Use of thermal probes information for controlling the blast furnace charging]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost' [Metallurgical and mining industry]*, 2018, 7, 208–215. (In Russian).
21. Horupakha V.V., Semenov Yu.S., Shumelchik E.I. & Vyshinskaya E.D. (2019). Trends in the Engineering of Blast Furnaces in Modern Fuel and Raw Materials Conditions. *Steel in Translation*, 2019, Vol. 49, 2, 110–117. <https://doi.org/10.3103/S0967091219020086>
22. Horupakha V.V., Semenov Yu.S., Shumelchik E.I. & Vashchenko S.V. (2019). Influence of Transient Blast Furnace Conditions on the Temperature in the Cooling System. *Steel in Translation*, 2019, Vol. 49, 6, 397–401. <https://doi.org/10.3103/S0967091219060056>
23. Semenov Yu.S. (2016). Novyye podkhody v upravlenii zagruzkoj domennoy pechi, oborudovannoy BZU, v sovremennykh usloviyakh raboty [Choice of rational blast furnace charging regimes, CCU equipment, for operating conditions with a slow feed rate and with unstable charge material quality]. *Poznaniye protsessov i razvitiye tekhnologii domennoy plavki: kollektivnyy trud vtorogo mezhdunarodnogo simpoziuma [Cognition of processes and development of blast-furnace smelting technology: collective work of the second international symposium]* I.G. Tovarovskiy (Ed). Dnepr: ZHURFOND, 2016, 272–285. (In Russian).
24. Bol'shakov V.I., Semenov Yu.S. & Shumel'chik E.I. et al. (2014). Osvoyeniye energosberegayushchey tekhnologii zagruzki domennoy pechi, oborudovannoy BZU, v kon'yunkturykh toplivno-syr'yevykh i tekhnologicheskikh usloviyakh [Development of energy-saving charging technology of a blast furnace with a bell-less top in the context of fuel, raw materials, and technological conditions]. *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii. Sb.nauchn.tr.ICHM [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. Collection of scientific articles ISI NANU]*, 2014, 28, 57–80. (In Russian).
25. Semenov Yu.S., Horupakha V.V., Semion I.Yu., Orobtssev A.Yu. & Shumelchik E.I. (2019). Effektivnost' realizatsii okruzhnoy neravnomernosti raspredeleniya PUT po vozdushnym furmam domennoy pechi [Effectiveness of implementation of the circumferential uneven pulverized coal distribution on the blast furnace air tuyeres]. *Chernye Metally [Ferrous metals]*, 2019, 10, 11–16. (In Russian).
26. Semenov Yu.S., Gorupakha V.V. & Kuznetsov A.M. et al. (2020) Experience of Using Manganese-Containing Materials in Blast-Furnace Charge. *Metallurgist*, 2020, Vol. 63, 9–10, 1013–1023. <https://doi.org/10.1007/s11015-020-00920-1>

**Yu.S. Semenov**, PhD, Senior Researcher, ORCID 0000-0003-2299-5742

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2019. – Вып.33

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33

ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnyye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Выпуск



**E.I. Shumelchik**, PhD, Senior Researcher, ORCID 0000-0001-5350-6425

**V.V. Horupakha**, Researcher, ORCID 0000-0003-0531-1871

*Iron and Steel Institute named after Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine*

### **Development and implementation of the new approaches to diagnostics and management of the blast furnace smelting**

**Summary.** For the conditions of transition modes of blast furnace to ensure its stability in changing the qualitative and quantitative composition of the components of the charge materials, as well as in the change of fuel additives in the blast, the complex use of information of modern means of automated control is proved: stationary thermosets and thermocouples to the lining. New approaches to the choice of rational charging programs using the principle of variable maximum ore loading along the radius of the furnace within the charging cycle for working conditions on a charge of low quality have been developed. The implementation of such a charging program over the next three years has allowed to ensure a stable and economical course of melting, and its adaptation to the technology of using pulverized coal has allowed to reduce the gas flow temperature of the peripheral zone throughout the height of the blast furnace, as well as to preserve the cooling system during the development of lining-free. Expert module of adjustment of the program of charging using the established rational ranges of change of temperature indices of gas flow distribution along the radius of the furnace under different technological conditions of blast furnace has been developed and implemented on three blast furnaces. The method of reasonable choice of location of closed air tuyeres or air tuyeres of different diameter was developed and tested using information on change of lining temperatures on height and circumference of blast furnace. The method of equalizing the raceway adiabatic flame temperature around the blast furnace circumference by creating a non-uniform flow rate of pulverized coal in the air tuyeres has been improved and implemented. The basic technological requirements for blast furnace blasting after its long stop without release of "gantry" cast iron and scraping of materials from the furnace, the use of which before and in the blast furnace blasting of the Yenakiieve Iron & Steel Works and the Dneprovsky Iron & Steel Integrated Works after a long-lasting set-up were developed economic indicators, while ensuring the preservation of refractory lining, structures and equipment.

**Keywords:** blast furnace, charging program, BLT, temperature probe, the quality of coke, pellet content in the charge, lining, blowing of a blast furnace.

**For citation:** *Semenov YU.S., Shumel'chik YE.I., Horupakha V.V. Rozrobka i vprovadzhennya novykh pidkhodiv do diahnostyky ta upravlinnya domennoyu plavkoyu. [Development and implementation of new approaches to the diagnosis and management of blast furnace smelting.]. «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii».[Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy ] 2020, 34. 61-77. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2019-33-61-77*

*Статья поступила в редакцию сборника 7.10.2019 года, прошла внутреннее и внешнее рецензирование (Протокол заседания редакционной коллегии сборника №2 от 23 декабря 2019 года)*

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2019. - Вып.33 «Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2019. – Collection 33 ISSN 2522-9117 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2019. – Выпуск*