

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-56-19>

УДК 004.9

Гусєв Олександр Юрійович, к.ф.-м.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-0548-728X>

Рибальченко Юрій Петрович, асистент

<https://orcid.org/0000-0003-1363-9885>

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТРОЛЮ ТЕПЛООВОГО СТАНУ НИЖНЬОЇ ЧАСТИНИ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

**Гусєв О.Ю., Рибальченко Ю.П. Інформаційна технологія підвищення ефективності контролю теплового стану нижньої частини доменної печі.** У роботі проведено аналіз особливостей доменного процесу, зокрема мінливості вхідних параметрів, періодичності завантаження матеріалів та циклів накопичення і випуску рідких продуктів плавки. Це впливає на тепловий стан доменної печі, що ускладнює підтримку стабільного ходу процесу. Для вирішення цієї проблеми запропоновано інформаційну технологію контролю теплового стану доменної печі, яка дозволяє здійснювати моніторинг температури футерування металопримача в режимі реального часу. Такий підхід забезпечує швидке реагування на відхилення та підтримку стабільного процесу плавки. Особливу увагу приділено циклу "накопичення-випуск" рідких продуктів плавки, що дозволяє контролювати рівень наповнення металопримача і своєчасно організувати випуск продукції. На основі цієї технології розроблено програмне середовище, яке автоматично надає оператору кількісні дані про тепловий стан горна та прогнозує вміст кремнію в чавуні. Використання цієї інформаційної технології підвищує ефективність управління процесом плавки, знижує витрати енергоресурсів, покращує техніко-економічні показники виробництва та забезпечує стабільну якість продукції.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, контроль, доменний процес, тепловий стан, монолітна архітектура.

**Gusiev A., Rybalchenko Y. Information technology to improve the efficiency of thermal control of the bottom part of the blast furnace.** The paper analyzes the characteristics of the blast furnace process, particularly the variability of input parameters, the periodicity of material charging, and the accumulation and discharge cycles of molten products. These factors affect the thermal state of the blast furnace, complicating the maintenance of a stable process. To address this issue, an information technology for controlling the thermal state of the blast furnace is proposed, allowing real-time monitoring of the lining temperature of the hearth. This approach ensures quick responses to deviations and helps maintain a stable smelting process. Special attention is given to the "accumulation-discharge" cycle of molten products, enabling control of the hearth's filling level and timely discharge of products. Based on this technology, a software environment has been developed to automatically provide the operator with quantitative data on the thermal state of the hearth and forecast the silicon content in the pig iron. The use of this information technology enhances the efficiency of managing the smelting process, reduces energy consumption, improves the technical and economic indicators of production, and ensures the stable quality of the final product.

**Keywords:** information technology, control, blast furnace process, thermal state, monolithic architecture.

**Постановка проблеми.** Доменний процес, незважаючи на його інерційність і стійкість, унаслідок значного часу перебування шихтових матеріалів у печі, відносять до квазістаціонарного. Нестационарність процесу спричинена мінливістю значень вхідних параметрів процесу доменної плавки, періодичністю завантаження шихтових матеріалів, накопиченням і випуском рідких продуктів плавки і, як наслідок, відповідною зміною умов відновлювальної роботи горнових газів у шахті та теплової роботи в горні. Усе це проявляється і в циклічному характері зміни ступеня використання газів-відновлювачів, а також фізичного і хімічного нагріву чавуну в міру накопичення та спорожнення горна в процесі плавки. У зв'язку з мінливістю значень вхідних параметрів процесу доменної плавки, періодичністю завантаження шихтових матеріалів, накопиченням і випуском рідких продуктів плавки виникають проблеми з управлінням процесом і забезпеченням якості продукції. Для розв'язання цієї проблеми пропонується використання інформаційної технології контролю теплового стану доменної печі, що дає змогу проводити моніторинг у режимі реального часу та швидко реагувати на будь-які проблеми, які можуть вплинути на процес плавки.

**Мета роботи** - підвищення ефективності моніторингу теплового стану нижньої частини доменної печі за допомогою інформаційної технології контролю у режимі реального часу, що дозволить швидко реагувати на будь-які проблеми, які можуть вплинути на процес плавки.

**Виклад основного матеріалу.** У процесі доменної плавки відбувається циклічна зміна теплового стану горна, пов'язана з накопиченням і випуском рідких продуктів плавки в горні. Накопичення рідких продуктів плавки супроводжується накопиченням кількості тепла, що вноситься чавуном і шлаком у горн, а випуск рідких продуктів - виносом тепла з горна [1].

Тепловий стан горна безпосередньо пов'язаний з температурою його футерування. Таким чином, контролюючи температуру футерування металоприймача, можна здійснювати контроль теплової роботи горна доменної печі.

Якісні техніко-економічні показники доменної плавки - висока продуктивність, низька питома витрата коксу і потрібний хімічний склад чавуну, можна отримати тільки за "нормальної роботи" печі. Поняття про нормальну роботу пов'язується з так званим "рівним ходом" печі.

Таким чином, оптимальним режимом доменної плавки, що дає змогу мінімізувати енергоресурси і забезпечити отримання чавуну на випуску із заданим хімічним складом, є "рівний хід" доменної печі [2], який характеризується:

1. Плавним і стійким сходом шихтових матеріалів з постійною швидкістю опускання шматків шихти в поперечному перерізі печі. Тут важливо зазначити, що швидкість опускання матеріалів в окремих точках перерізу печі може бути різною, але за рівного перебігу плавки ця швидкість має бути постійною.

2. Сталістю кількості продуктів плавки, що випускаються з печі на кожному випуску.

3. Стійким характером розподілу шихтових матеріалів і газового потоку в перерізі доменної печі, за якого досягається максимальний ступінь використання хімічної і теплової енергії газу з мінімальною для даних умов питомою витратою коксу.

4. Постійними параметрами дуттьового режиму, тобто за умови стабільності витрати дуття, його температури і вологості, а також сталості витрат природного газу (пиловугільного палива або мазуту) і технологічного кисню.

5. Стійким тепловим станом плавки, коли має місце отримання чавуну і шлаку заданого складу з відповідними фізико-хімічними властивостями.

6. Наявністю стійкого гарнісажу, що забезпечує сталість робочого профілю доменної печі та його збереження в процесі експлуатації.

Рівний хід плавки досягається суворим дотриманням усіх технологічних інструкцій і положень, починаючи від приймання та складування шихтових матеріалів, завантаження їх у піч, виконання технології плавки і закінчуючи випуском продуктів плавки.

Контроль перебігу доменної плавки і коригування режиму здійснюється за результатами візуального спостереження, за допомогою контрольно-вимірювальних приладів (КВП) і сучасних експертних систем, що реалізують математичні моделі розвитку фізико-хімічних явищ. Метою контролю є виявлення можливих відхилень основних параметрів процесів від заданих.

При класифікації того чи іншого виду відхилення ходу плавки від нормального режиму аналізується весь комплекс вимірюваних параметрів у сукупності з результатами візуального спостереження [2].

Виходячи з викладеного, можна зробити висновок, що для ефективного контролю теплового режиму доменної печі необхідно виробити якийсь інтегральний показник, який відображав би максимально повно всю інформацію про рівний хід.

Як такий показник пропонується використовувати інформацію про процес "накопичення-випуск" рідких продуктів доменної плавки, що безпосередньо відображають рівень рідких продуктів плавки в металоприймачі, тобто ступінь його наповнення і спорожнення.

Для реалізації запропонованого методу використовувався універсальний пристрій контролю теплових процесів у горні доменної печі (УКТП), (рис. 1) [3].



Рис.1. Пристрій контролю теплового режиму горна і циклів "накопичення-випуск"

Схему встановлення УКТП у футеровку металоприймача доменної печі наведено на рис. 2.

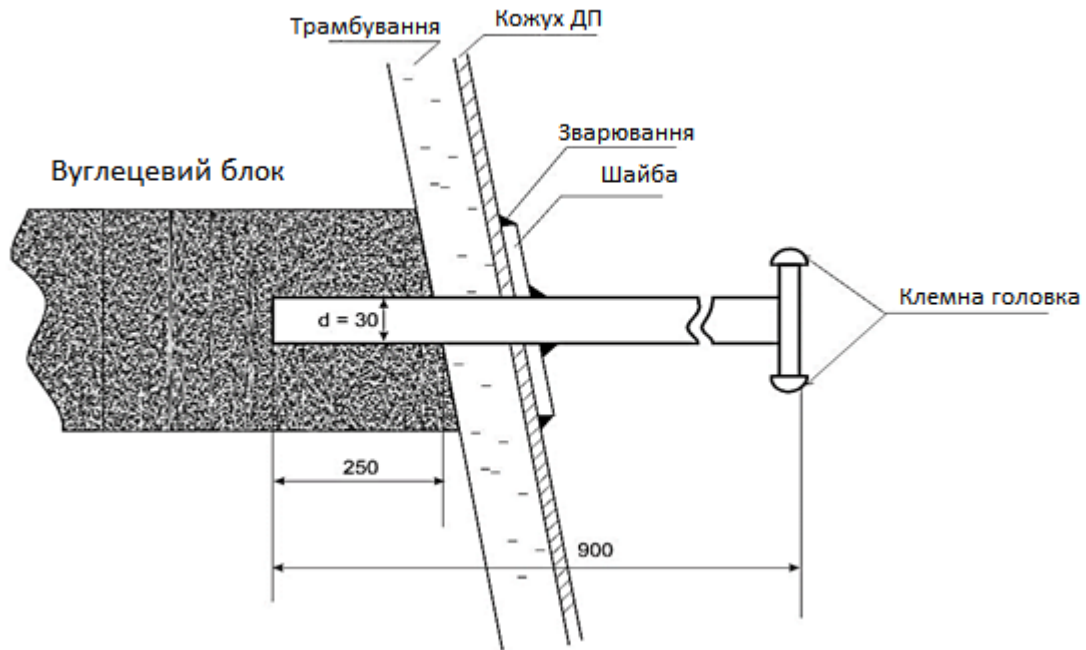


Рис. 2. Встановлення УКТП у футеровку металоприймача

УКТП дає змогу контролювати температуру футеровки, яка, як уже згадувалося, безпосередньо пов'язана з рівнем рідких продуктів плавки.

На рис. 3 наведено графік, що відображає поведінку процесу "накопичення-випуск".

З рисунка видно, що показання УКТП мають вигляд полігармонійних коливань. Висхідні лінії відображають процес "накопичення" металоприймачем рідких продуктів плавки (прихід тепла), низхідні - "випуск" (витрата тепла) продуктів плавки з доменної печі.

На верхніх перегінах спостерігаються порівняно "рівні" майданчики тривалістю за часом 5-10 хв., що свідчить про наповнення металоприймача рідкими продуктами плавки та "готовність" доменної печі до випуску. При цьому вважається, що рівень розплаву досяг 100%.

У разі затримок випусків тривалість за часом "рівного майданчика" досягає 30-50 хв. і більше.



Рис. 3. Графік поведінки процесу "накопичення-випуск"

Таким чином, інформація про цикли "накопичення - випуск" дає змогу візуально визначити ступінь наповнення металоприймача рідкими продуктами плавки й організувати своєчасний випуск продуктів плавки.

Візуальна оцінка трендів записів показань УДТП-2 дає змогу спостерігати тенденцію тренду теплового режиму горна - "розігрів", "похолодання", "норма" (рис. 4, 5, 6 відповідно).



Рис. 4. Реєстрація УДТП-2 режиму "розігрів" і гістограма прогнозу вмісту кремнію в чавуні (зелений колір)

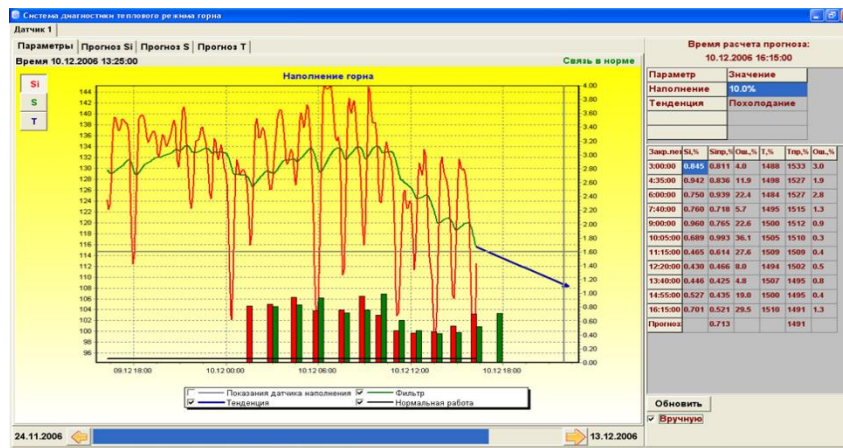


Рис. 5. Реєстрація УДТП-2 режиму "похолодання" і гістограма прогнозу вмісту кремнію в чавуні (зелений колір)

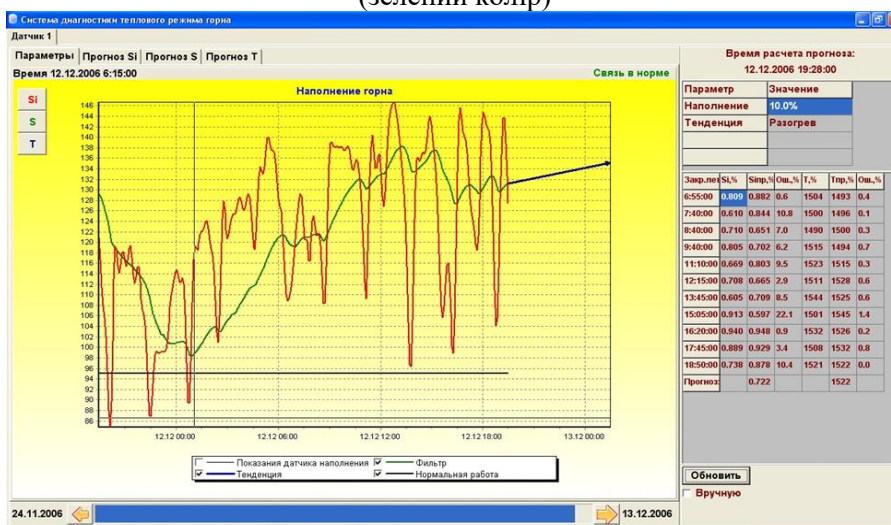


Рис. 6. Реєстрація УДТП-2 режиму "нормальної" роботи горна доменної печі

Важливою перевагою використання запропонованої інформаційної технології контролю теплового стану доменної печі є можливість проводити моніторинг у режимі реального часу, що дає

зможу операторам швидко реагувати на будь-які інші проблеми, що можуть вплинути на процес плавки, та скоригувати виробничі параметри для забезпечення ефективності та якості продукції.

На основі запропонованої інформаційної технології було розроблено програмне середовище, що дає змогу оператору отримувати кількісну оцінку інформації, яка автоматично відображає тренд теплового стану горна доменної печі та прогноз вмісту кремнію в чавуні на випуску.

**Висновки.** Використання інформаційної технології для контролю теплового стану доменної печі є необхідним компонентом сучасного виробництва чавуну. Вона дає змогу операторам-технологам контролювати і коригувати виробничі параметри в режимі реального часу, використовуючи, в перспективі, технології штучного інтелекту і машинного навчання. Крім того, контроль теплового стану доменної печі дають змогу підвищити безпеку виробничого процесу шляхом запобігання можливим аваріям, пов'язаним з перегрівом печі, а також підвищити якість продукції.

**Список бібліографічного опису:**

1. Корнієнко В.І. Комплексна оцінка, ідентифікація та прогнозування складних нелінійних процесів / В.І. Корнієнко, І.Г. Гуліна, Л.В. Будкова, // Науковий вісник НГУ. – 2013. – № 6. – С. 124-131. – ISSN 2071-2227.
2. Гуліна І.Г. Ідентифікація, прогнозування і управління складним багатозв'язним об'єктом управління / І.Г. Гуліна, В.І. Корнієнко, А.Ю. Гусев, В.Г. Макиєнко // Системи обробки інформації. – 2012. – № 9 (107). – С. 31-35. – ISSN 1681-7700.
3. Боковиков Б.А. Моделирование тепловых процессов в горне доменной печи с учётом периодичности накопления и выпуска продуктов плавки / Б.А. Боковиков, В.Г. Макиєнко // Известия вузов. Чёрная металлургия, 1986, №4, с.126-130.

**References:**

1. Korniyenko V.I. Comprehensive evaluation, identification, and forecasting of complex nonlinear processes / V.I. Korniyenko, I.G. Hulina, L.V. Budkova // Scientific Bulletin of the National Mining University. – 2013. – No. 6. – P. 124-131. – ISSN 2071-2227.
2. Hulina I.G. Identification, forecasting, and control of a complex multivariable control object / I.G. Hulina, V.I. Korniyenko, A.Yu. Gusev, V.G. Makiyenko // Information Processing Systems. – 2012. – No. 9 (107). – P. 31-35. – ISSN 1681-7700.
3. Bokovikov B.A. Modeling of heat processes in the hearth of blast furnace, taking into account the periodicity of accumulation and release of melt products / B.A. Bokovikov, V.G. Makiyenko // Izvestia vuzov. Ferrous metallurgy, 1986, №4, p.126-130.