

О. А. Сохацький, кандидат технічних наук,
науковий співробітник Інституту чорної металургії
Національної академії наук України

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ НА ПРАКТИЦІ*

Розроблено й реалізовано у складі автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) доменної печі (ДП) № 9 “АрселорМіттал Кривий Ріг” (“АМКР”) підсистему “Контроль зовнішніх теплових витрат і витрат коксу на їх покриття”, що дає змогу отримувати інформацію про зовнішні теплові втрати і витрати коксу на їх покриття, тепловий баланс доменної плавки, оперативно визначати та оцінювати раціональність теплового режиму роботи печі. Показано можливість аналізу і прогнозування витрат коксу під час довгострокових зупинок печі, визначення загальної та засвоєної теплової потужності печі, коефіцієнта використання теплоти палива (КВП) і теплового дефіциту чавуну.

Разработана и реализована в составе АСУ ТП ДП № 9 “АМКР” подсистема “Контроль внешних тепловых потерь и расхода кокса на их покрытие”, что позволяет получать информацию о внешних тепловых потерях и расходе кокса на их покрытие, тепловом балансе доменной плавки, оперативно определять и оценивать рациональность теплового режима работы печи. Показана возможность анализа и прогнозирования расхода кокса при длительных остановках печи, определения общей и усвоенной тепловой мощности печи, коэффициента использования теплоты топлива (КИТ) и теплового дефицита чугуна.

Developed and implemented as part of an automated process control system blast furnace № 9 “ArcelorMittal Kriviy Rig” subsystem “Control of external heat loss and coke consumption in their coverage”, which allows you to get information of external thermal losses and consumption of coke in their coverage, blast-furnace heat balance promptly determine and evaluate the rationality of the thermal regime of the furnace. The possibility of analyzing and predicting coke consumption during long stops furnace, determine the total heat capacity and assimilated oven, coefficient of heat consumption and heat iron deficiency.

Ключові слова. Доменна піч, теплоенергетичні параметри, загальна теплова потужність, коефіцієнт використання теплоти палива, зовнішні теплові втрати, продуктивність, витрата коксу.

Вступ. Нині для оперативного відстеження та управління режимом роботи вітчизняних доменних печей з метою підтримки заданого виробництва та якості виплавленого чавуну використовуються моделі розрахунку матеріального балансу “Шихтовка” і технологічна інструкція, яка узагальнює досвід доменного виробництва. Елементи, що описують енергетичний баланс доменної плавки, до яких належать: зовнішні теплові втрати, витрата коксу на їх покриття, теплоенергетичні параметри (теплова потужність, коефіцієнт використання теплоти палива (КВП) і тепловий дефіцит чавуну) – не дуже поширені [1–4].

Постановка завдання. Мета статті – розвиток теплотехнічних основ використання на практиці теплоенергетичних параметрів роботи доменної печі.

Результати дослідження. Практичний початок автоматизованого контролю роботи системи охолодження та її застосування у вітчизняному доменному виробництві започатковано в 60-х рр. минулого століття у працях В. Я. Кожуха [5]. Зараз на доменних печах країн СНД спостерігається активізація робіт з автоматизованого контролю зовнішніх теплових втрат доменних печей.

© О. А. Сохацький, 2013

* Роботу виконано під керівництвом к. т. н. О. Л. Чайки

Залежно від глибини розрахунку теоретичної бази та оснащеності доменної печі вимірювальними приладами перепаду температур і витрати води на охолоджувані елементи доменної печі основними напрямками практичного застосування інформації про теплові втрати в системі охолодження можуть бути:

1. Урахування величини зовнішніх теплових втрат і витрати коксу на їх покриття в техніко-економічних розрахунках.

2. Використання для пошуку раціонального та оцінки ефективності вибраного теплогазодинамічного режиму за зміни параметрів і складу дуття, тиску в колошниковому просторі, програми завантаження печі.

3. Реалізація в складі АСУ ТП підсистем контролю розпалу футеровки, утворення і сходу гарнісажу в шахті та металоприймача доменної печі.

4. Планування змін у конструкції шахти, заплечиків і металоприймача.

Інститутом чорної металургії Національної академії наук України (ІЧМ НАНУ) протягом 45 років періодично інструментальними вимірами контролювалися втрати теплоти на 33 доменних печах 14 металургійних підприємств СНД, що виплавляють різні марки чавунів і працюють з різними шихтовими і дуттьовими параметрами, в різних технологічних і економічних умовах. Особливу увагу дослідників привертала доменна піч № 9 ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” (“АМКР”) об’ємом 5000 м³ (табл. 1) [2, 4, 6].

Таблиця 1

**Теплові втрати доменної печі № 9 ПАТ “АМКР”
за даними інструментальних вимірів ІЧМ НАНУ, кВт**

Зона охолодження	Розподіл газового потоку в печі						Периферійний [2, 4]
	Центральний			Периферійний			
	перед ремонтом			після ремонту			
	14.9.82	5.8.83 ^{*1)}	7.5.03 ^{*2)}	19.12.83	26.1.84	18.8.07	
Під:							
• нижній	354	347	647	263	475	451	523
• верхній	632	623	641	252	298	962	992
Горно:	700	654	836	1387	1382	1558	1269
• нижнє	–	–	423	–	–	997	–
• верхнє	–	–	413	–	–	561	–
Чавунні льотки	–	–	209	–	–	–	–
Фурмена зона	281	326	508	220	212	309	530
Фурмені прилади:	10 244	10 296	13 980	13 290	14 129	10 231	12 000 ^{*3)}
• фурми	8123	8374	12 000 ^{*3)}	11 510	12 277	8300 ^{*3)}	–
• амбразури	334	365	304	155	177	267 ^{*7)}	–
• діжки	373	394	378	265	315	345 ^{*7)}	–
• сопла	1414	1163	1300	1360	1360	1319 ^{*7)}	–
Заплечики	3298	3034	2380	1692	3259	4515	6285 ^{*4)}
Шахта	13 595	14 172	14 340	1233	1490	13 317	23 432 ^{*4)}
Повітряне охолодження поду	442	–	–	233	369	–	–
Випромінюванням і конвекцією від печі	–	2908	–	–	825	–	–
Разом ^{*5)}	29 548	32 360	33 000	18 570	22 439	31 344	45 031
Загальні втрати теплоти ^{*6)}	32 802	32 756	36 500	19 395	23 600	32 911	48 150

^{*1)} – ремонт печі I розряду виконувався з 07.08.1983 до 01.11.1983; ^{*2)} – ремонт I розряду виконувався з 11.05.2003 до 14.11.2003; ^{*3)} – оцінені за розрахунком; ^{*4)} – дані ВПППЧЕО; ^{*5)} – втрати теплоти за замірами; ^{*6)} – сумарні втрати теплоти з урахуванням втрат теплоти конвекцією, випромінюванням від кожуха та охолодженням поду повітрям; ^{*7)} – середня величина для ДП 9.

У 2009 р. за ініціативи ІЧМ НАНУ на доменній печі № 9 ПАТ “АМКР” організовано автоматизований контроль сумарних теплових втрат у системі її водяного охолодження.

2011 р. у складі АСУ ТП ДП № 9 ПАТ “АМКР” реалізовано підсистему “Контроль зовнішніх теплових втрат і витрати коксу на їх покриття”, до якої входить також автоматизований контроль теплових потужностей печі (загальної, засвоєної та холостої), КВП і теплового дефіциту чавуну. Освоєння цієї інформації дозволяє аналізувати причинно-наслідкові зв’язки внесення змін до технологічного режиму роботи печі, оперативніше вживати заходів щодо уникнення аварійних ситуацій та оптимізації ходу печі, що забезпечує економію коксу та підвищення стійкості огородження печі [4, 7–9].

Методика дослідження. Для аналізу теплової роботи периферійної зони і печі в цілому використано балансову теплоенергетичну модель розрахунку доменної плавки І. Д. Семикіна і термографічний метод моніторингу температурно-теплових навантажень на огородження печі [1–4, 7–9]. У цілому, під час опису теплової роботи за зонами доменної печі використовуються такі основні теплоенергетичні параметри [1–4]:

- 1) загальна тепла потужність печі ($M_{зас}$), МВт;
- 2) коефіцієнт використання теплоти палива (КВП – η);
- 3) робоча тепла потужність ($M_{роб}$), МВт;
- 4) потужність холостого ходу ($M_{х.х}$), МВт;
- 5) засвоєна тепла потужність ($M_{зас}$), МВт;
- 6) тепловий дефіцит чавуну (ΔI), МДж/т (чав.);
- 7) втрати теплоти робочого простору печі ($Q_{в.р.п.}$), МВт.

Основні з них чотири: загальна тепла потужність печі; КВП; тепловий дефіцит чавуну; втрати теплоти робочого простору печі, які використовувались у розробці підсистеми АСУ ТП ДП № 9 “Контроль зовнішніх теплових втрат і витрати коксу на їх покриття”.

Загальна тепла потужність – це основна енергетична характеристика печі, що визначає її продуктивність. Її значення залежить від специфіки спалювання палива і процесів відновлення [1, 4].

Загальна тепла потужність печі – кількість теплоти, яка виділяється за одиницю часу при повному спалюванні вуглецю палива на фурмах (1) [1, 4].

$$M_{зас} = \frac{V_{дуть} \times O_2}{0,933 \times 60} \times \frac{Q_n^p}{1000} = C_{\Sigma_{ФУРМ}} \times \frac{Q_n^p}{1000}, \text{ МВт}, \quad (1)$$

де $V_{дуть}$ – витрата дуття, м³/хв;

0,933 – кількість м³ кисню, потрібна для спалювання 1 кг вуглецю;

Q_n^p – нижча теплота повного згоряння вуглецю коксу, кДж/кг вуглецю;

$C_{\Sigma_{ФУРМ}}$ – кількість сумарного вуглецю (коксу, природного газу та інших палив), що згорає на фурмах у сухому дутті, кг вуглецю/сек;

c_{O_2} , c_{N_2} – теплоємність кисню та азоту, КДж/(м³ °С);

O_2 – вміст кисню в дутті в частках.

Одним із теплоенергетичних параметрів, що відображає розподіл теплоти в ДП та її зонах, є КВП палива. КВП – це відношення кількості теплоти, залишеної в печі, на одиницю палива до його теплотворної здатності. Визначається виразом (2) [1, 4].

$$\eta = \frac{Q_{CO}^p + Q_{\Phi I3}^{oym} + Q_{\Phi I3}^m - Q_{\Phi I3}^{n.3}}{Q_n^p} = \frac{Q_{CO}^p + V_{om} c_0^{t_{oym}} t_{oym} + c_0^{t_m} t_m - V_{n.3} c_0^{t_{n.3}} t_{n.3}}{Q_n^p}, \quad (2)$$

де Q_{CO}^p – ентальпія згорання палива до CO, кДж/кг вуглецю;

$Q_{\Phi I3}^{oym}$ – фізична теплота, яка вноситься дуттям, кДж/кг вуглецю;

$Q_{\Phi I3}^n$ – фізична теплота палива кДж/кг вуглецю;

$Q_{\Phi I3}^{n.3}$ – ентальпія продуктів згорання, що виходять з печі або окремих її зон (у розрахунку на одиницю палива), кДж/кг вуглецю;

Q_n^p – теплотворна здатність палива кДж/кг вуглецю;

$V_{om}, V_{n.3}$ – кількість дуття й вихід продуктів згорання, м³/кг вуглецю;

$c_0^{t_{oym}}, c_0^{t_{n.3}}, c_0^{t_n}$ – теплоємність дуття, продуктів згорання, кДж/(м³ × К) та палива, кДж/(кг вуглецю × К);

$t_{om}, t_{n.3}, t_m$ – їхня температура, °С.

Загальна теплова потужність – це сума потужностей: робочого ($M_{роб}$) і холостого ходу ($M_{х.х.}$):

$$M_{заг} = M_{роб} + M_{х.х.}, \text{ МВт.} \quad (3)$$

Робоча теплова потужність $M_{роб}$ витрачається на розвиток технологічного процесу в печі (нагрівання і плавлення шихти, відновлення елементів чавуну, розкладання карбонатів тощо).

$$M_{роб} = M_{заг} - M_{х.х.}, \text{ МВт.} \quad (4)$$

Потужність холостого ходу ($M_{х.х.}$) – це кількість теплоти, що витрачається на покриття теплових втрат робочого простору печі або її відповідних технологічних зон і визначається виразом (5):

$$M_{х.х.} = Q_{н.р.н.} / \eta, \text{ МВт.} \quad (5)$$

Тепловий дефіцит чавуну ($\Delta I_{чавуну}$) – це питома кількість енергії, необхідна сирим матеріалам, щоб перетворити їх на готовий кінцевий продукт – чавун і шлак (6). Чим більше величина $\Delta I_{чавуну}$, тим напруженіший процес виплавки металу і тим менша продуктивність печі [4].

$$\Delta I_{чав} = \Delta I_{чав} + \Delta I_{шл} + \Delta I_{ел.чав} + \Delta I_{H_2O} + \Delta I_{rd} + \Delta I_C + \Delta I_{CaCO_3} + \Delta I_{ин}, \text{ МДж/т (чав),} \quad (6)$$

де ΔI – величини теплових дефіцитів:

$\Delta I_{чав}$ – на нагрівання і розплавлення чавуну;

$\Delta I_{шл}$ – на нагрівання і розплавлення шлаку;

$\Delta I_{ел.чав}$ – на відновлення елементів чавуну;

ΔI_{H_2O} – на розкладання вологи дуття;

ΔI_{rd} – на пряме відновлення Fe;

ΔI_C – на нагрівання вуглецю коксу від температури шихти у зазначеній зоні теплообміну до температури вуглецю у фурменній зоні;

ΔI_{CaCO_3} – на дисоціацію $CaCO_3$ і розкладання CO_2 , що виділився;

ΔI_{in} – інші витрати теплоти.

Кількість теплоти, яка безпосередньо поглинається технологічним процесом, називається засвоєною тепловою потужністю печі ($M_{зас}$) [4]:

$$M_{зас} = M_{роб} \times \eta = M_{зас} \times \eta - Q_{в.р.п.}, \text{ МВт}, \quad (7)$$

де $Q_{в.р.п.}$ – втрати теплоти робочого простору печі, МВт.

Теплові втрати робочого простору ($Q_{врт}$) – це теплота, яка втрачається системою огодження печі [4, 6]:

$$Q_{врт} = Q_{охл} + Q_{випар} + Q_{випр} + Q_{конв} + Q_{фунд}, \quad (8)$$

де $Q_{охл}$ – теплота, що вноситься охолоджуючими агентами – водою, паром і повітрям;

$Q_{випар}$ – теплота, що втрачається під час охолодження кожуха печі зовнішнім поливом;

$Q_{випр} + Q_{конв}$ – теплота, що втрачається випромінюванням і конвекцією в навколишній простір;

$Q_{фунд}$ – теплота, що втрачається теплопровідністю через фундамент, якщо під печі не охолоджується.

На систему охолодження доменної печі припадає 90–95 % усіх теплових втрат робочого простору печі. Тому теплове навантаження на охолоджені елементи є одним із інтегральних параметрів роботи, як доменної печі в цілому, так і окремих її периферійних зон [4, 6].

Урахування зовнішніх теплових втрат, отриманих калориметричним методом, дозволяє підвищити точність розрахунку теплоенергетичних параметрів і техніко-економічних показників доменної плавки на 2–10 %, оцінити динаміку нестабільності зміни, як у статистиці, так і в реальному часі, зовнішніх теплових втрат і витрат коксу на їхнє покриття, обчислених за залежністю І. Д. Семікіна:

$$K_{РТВ} = \frac{100}{Q_H^p \times C_K} \times \frac{Q_{ВРП} \times 3600}{\eta_C \times P} \times 1000, \text{ кг/т чавуну}, \quad (9)$$

де $Q_{ВРП}$ – зовнішні теплові втрати робочого простору печі, МВт;

η_C – КВП вуглецю коксу в печі;

$Q_H^p = 33\,412$ кДж/кг, повна теплота згоряння вуглецю коксу;

C_K – вміст вуглецю в коксі, %;

P – продуктивність печі, т/год.

Розподіл газового потоку в шахті і викривлення профілю печі відображають результати термографічного методу обстеження теплової роботи шахти, виконані на підставі вимірів радіаційним пірометром температур кожуха, обробки показів стаціонарних терморпар, установлених у кожусі за спеціальною методикою [7–9]. Ця інформація дозволяє так само врахувати величину зовнішніх теплових втрат випромінюванням і конвективним теплообміном між доменною піччю й оточуючим її простором, що становлять приблизно 5 % і більше від загальної величини зовнішніх теплових втрат [10].

Схему реалізованої на ДП № 9 ПАТ “АМКР” системи автоматизованого контролю зовнішніх теплових втрат подано на рис. 1. Згідно з наведеною схемою термopарою проводяться вимірювання температур трубопроводів кожного колектора із вхідної та вихідної води на піч. Витрати води кожного підведення фіксуються витратомірами, встановленими на печі. Похибка вимірювання теплових втрат в автоматизованому режимі становить 4÷5 %, а в ручному замірі 5÷21 %.

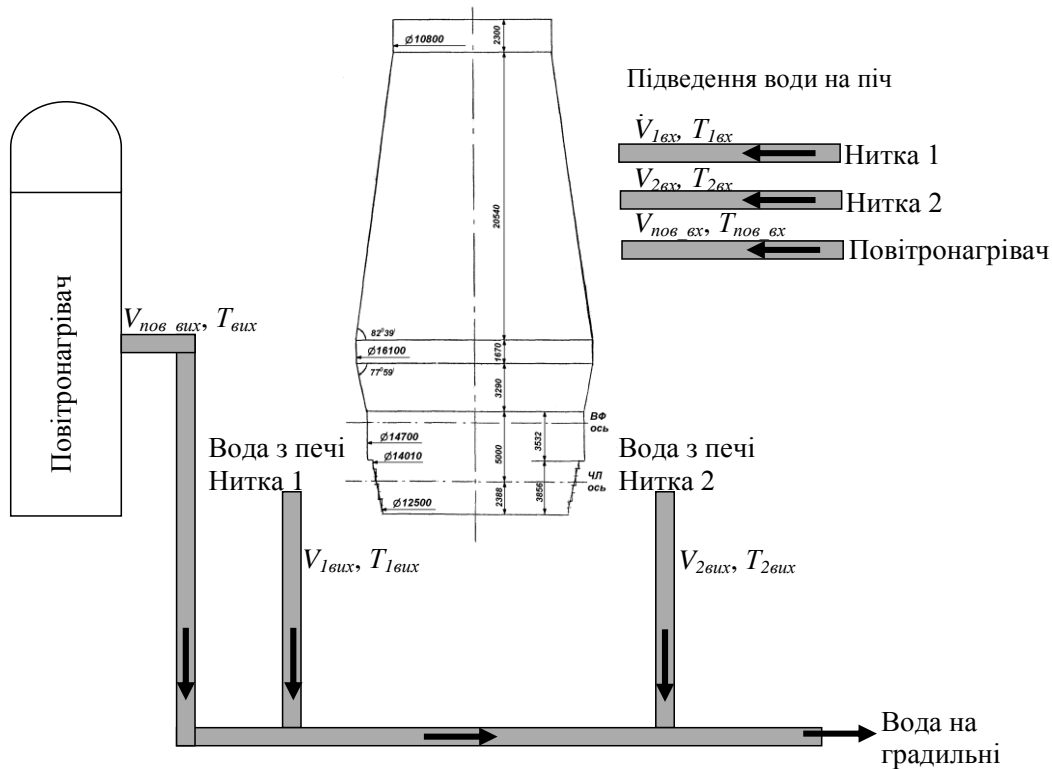


Рис. 1. Схема вимірювання теплових втрат на доменній печі № 9

Відеокадри результатів вимірювання зовнішніх теплових втрат в автоматизованому режимі ДП № 9 ПАТ “АМКР” об’ємом 5000 м³, які дозволяють контролювати її тепловий стан, подано на рис. 2. Ілюстроване на відеокадрах зменшення зовнішніх теплових втрат на ДП № 9 пов’язано з її зупинкою. Взаємозв’язок зміни зовнішніх теплових втрат, який фіксується в автоматизованому вимірюванні з обчисленою витратою коксу на їх покриття при постійній і фактичній продуктивності печі, подано на рис. 3. Зниження зовнішніх теплових втрат ДП № 9, подане на відеокадрах (рис. 2, 3 б), яке пов’язане з її зупинкою, надалі викликало збільшення витрати коксу на їх покриття на 7 кг/т чавуну (рис. 3 б).

Виконані дослідження показали, що в нестабільних умовах роботи ДП № 9 ПАТ “АМКР” є резерви зменшення витрати коксу на ~10–20 кг/т чавуну і більше за рахунок зменшення теплових втрат у системі охолодження печі (рис. 4). За умови проектного, стійкого режиму роботи резерви зменшення витрати коксу на покриття зовнішніх теплових втрат ста-

новлять близько 2–6 кг/т чавуну. Інформація про зміну величини зовнішніх теплових втрат дозволяє також аналізувати і прогнозувати витрати коксу на покриття зовнішніх теплових втрат (потужності холостого ходу) під час тривалих зупинок печі (рис. 4).

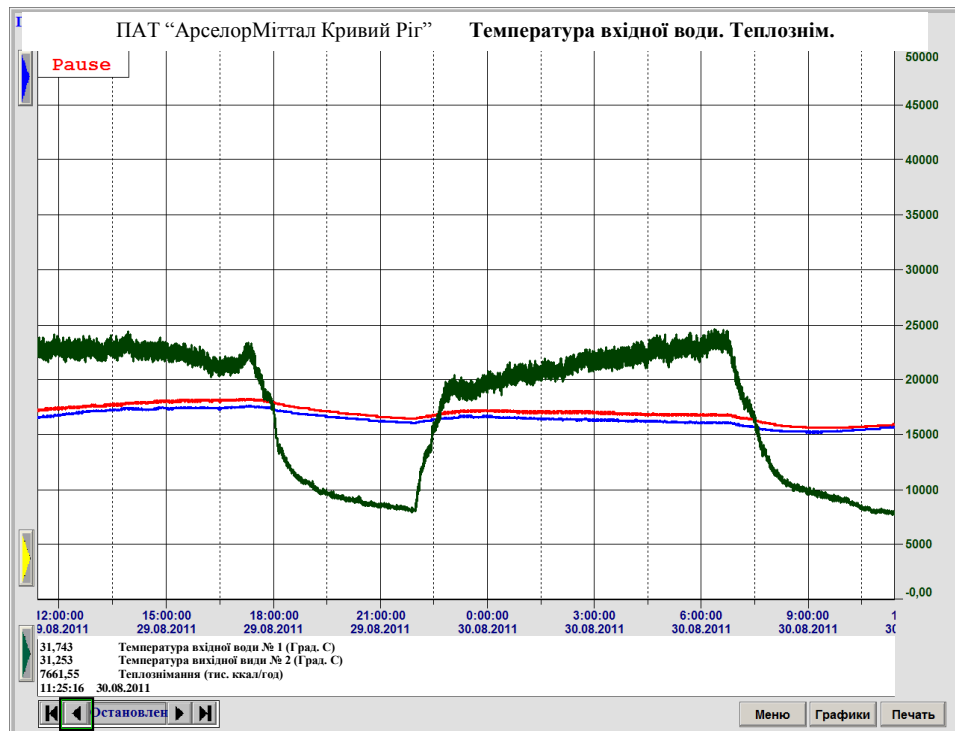


Рис. 2. Відеокадри вимірювання зовнішніх теплових втрат у системі охолодження ДП № 9 ПАТ «АМКР» в автоматизованому режимі

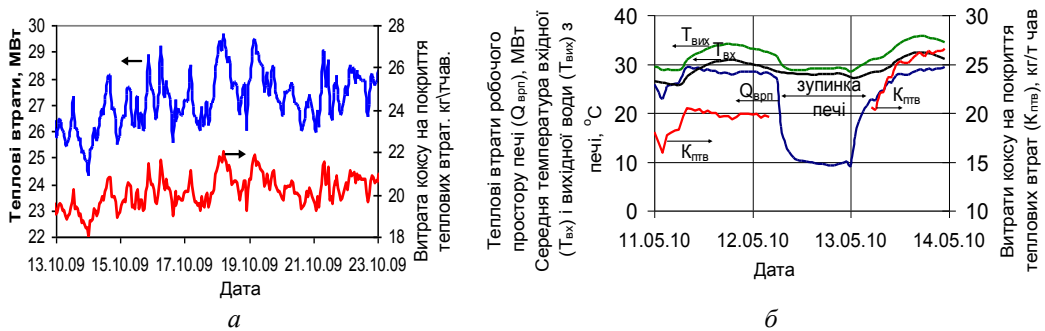


Рис. 3. Загальні теплові втрати, середня температура вхідної та вихідної води в системі водяного охолодження ДП № 9 за результатами автоматизованого контролю і витрата коксу на їх покриття за розрахунком за постійної (а) і фактичної (б) продуктивності

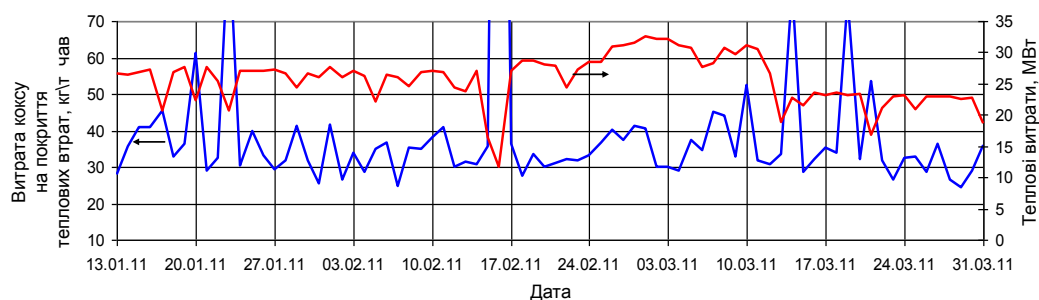


Рис. 4. Зміна зовнішніх теплових втрат у системі водяного охолодження ДП № 9 і витрати коксу на їх покриття

Інформацію про теплові втрати в системі охолодження доменних печей необхідно використовувати для визначення ефективності розподілу газового потоку, витрати коксу на покриття зовнішніх теплових втрат і для отримання своєчасних попереджень про розлади теплової роботи доменної печі.

Аналіз виконаних розрахунків теплових балансів ДП № 9 ПАТ “АМКР” за середньомісячними даними її роботи показав, що величини абсолютних і питомих теплових втрат на тону виплавленого чавуну з досить високою прогнозною точністю відображають зміни в теплоенергетичних параметрах і показниках теплової роботи доменної печі.

Результати досліджень свідчать, що інформацію про теплові втрати в системі охолодження доменних печей можна використовувати не тільки для визначення ефективності розподілу газового потоку і витрат коксу на покриття зовнішніх теплових втрат, але й для отримання своєчасних попереджень про розлади в тепловій роботі доменної печі.

Інтегральними параметрами, які показали себе найбільш надійними та чутливими до зміни техніко-економічних показників доменної плавки, є теплові втрати в системі охолодження, витрата коксу на їх покриття і температура колошникового газу в газовідводах. Ці параметри – невід’ємна складова розрахунку теплового балансу доменної плавки. Вплив величини теплових втрат і витрат коксу на їх покриття, на теплову роботу доменної печі та показники доменної плавки в теплоенергетичній моделі розраховуються з використанням понять теплової та засвоєної потужності, коефіцієнта використання теплоти палива, теплового дефіциту чавуну [1, 4]. Зазначені величини мають чіткий фізичний зміст, розраховуються через параметри і склад дуття, враховують зміни у складі шихти і колошникового газу, радіального розподілу газового потоку, отже, відкривають нові можливості в прийнятті науково обґрунтованих рішень для оперативного управління ходом доменної плавки.

З цією метою до складу АСУ ТП ДП № 9 ПАТ “АМКР” упроваджено підсистему “Контроль зовнішніх теплових втрат і витрата коксу на їх покриття”. Основні напрямки застосування підсистеми “Зовнішні теплові втрати і витрата коксу на їх покриття”:

1. Урахування величини зовнішніх теплових втрат і витрат коксу на їх покриття в техніко-економічних розрахунках.
2. Використання інформації, що надходить із підсистеми, для пошуку раціонального режиму та оцінки його ефективності теплогазодинамічного режиму в разі зміни параметрів і складу дуття, тиску в колошниковому просторі, програми завантаження печі.
3. Використання інформації про зовнішні теплові втрати та витрати коксу на їх покриття для виявлення розладів у роботі печі.

4. Реалізація (в перспективі) у складі АСУ ТП ДП № 9 підсистеми “Контроль теплової роботи печі”, яка працює в режимі порадника-майстра щодо вибору раціональних керівних рішень, котрі коригують теплової і газодинамічний режим ведення доменної плавки.

У ході дослідно-промислової апробації підсистеми в нестабільних умовах роботи ДП № 9 ПАТ “АМКР” у 2011 р., а також на підставі виконаних аналітичних досліджень виявлено фактори, які можуть свідчити про розлади в роботі печі (рис. 5):

- різке збільшення або зменшення зовнішніх теплових втрат;
- стрибкоподібна середньогодинна зміна витрати коксу на покриття зовнішніх теплових втрат;
- одночасна тенденція збільшення та зменшення величини зовнішніх теплових втрат і витрат коксу на їх покриття.

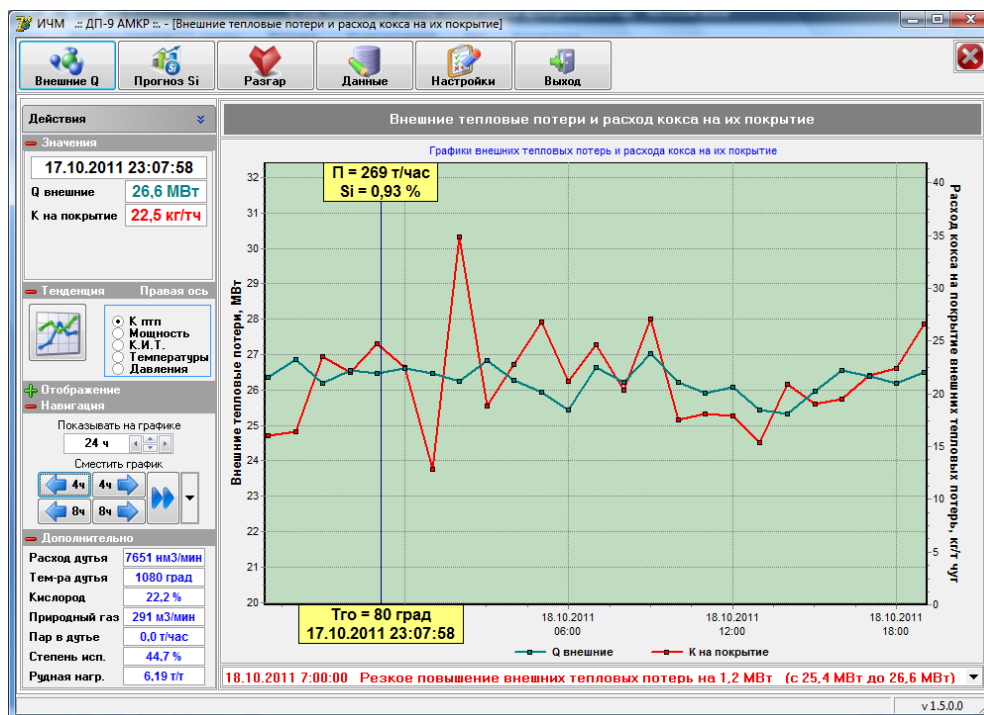


Рис. 5. Приклад попереджувального сигналу про різке збільшення (зменшення) зовнішніх теплових втрат: на відеокадрах зовнішні теплові втрати і витрати коксу на їх покриття

Оцінити, чи пов'язаний розігрів (охолодження) печі зі зміною теплогазодинамічного режиму ведення доменної плавки, дозволяють допоміжні відеокадри (рис. 6–7):

- збільшення (зменшення) теплової потужності печі відповідає збільшенню (зменшенню) кількості кисню, що надходить у доменну піч і за нормального режиму роботи печі супроводжується збільшенням (зменшенням) виробництва;
- динаміка зміни величин КВП відображає стабільність розподілу і використання теплоти палива в доменній печі;
- динаміка зміни тисків і температур по висоті печі дозволяє оцінити причинно-наслідкові зв'язки перерозподілу теплоти за умови збільшення (зменшення) величини зовнішніх теплових втрат.

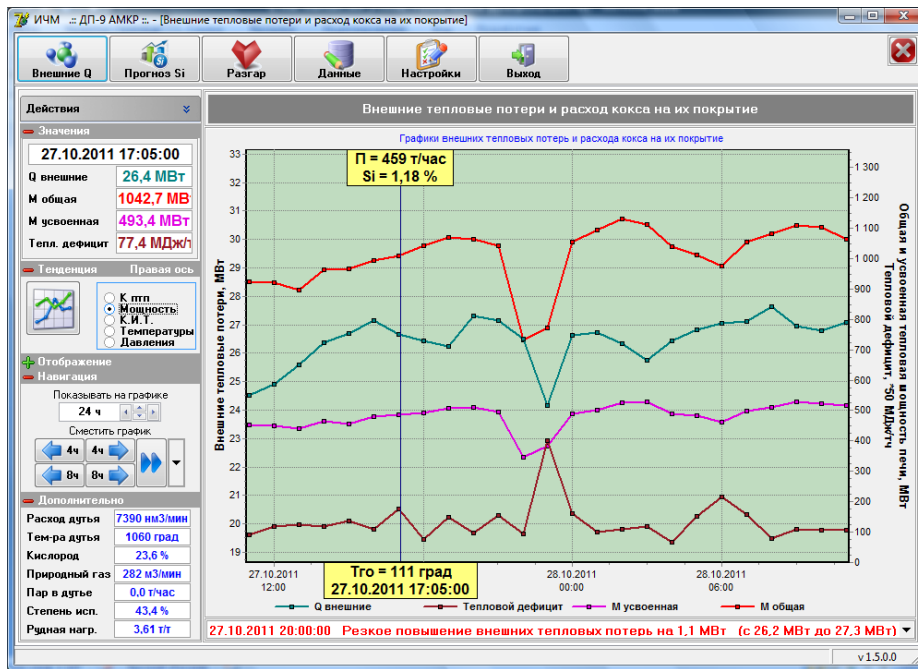


Рис. 6. Приклад відеокадру “Загальна і засвоєна теплова потужність, тепловий дефіцит чавуну”

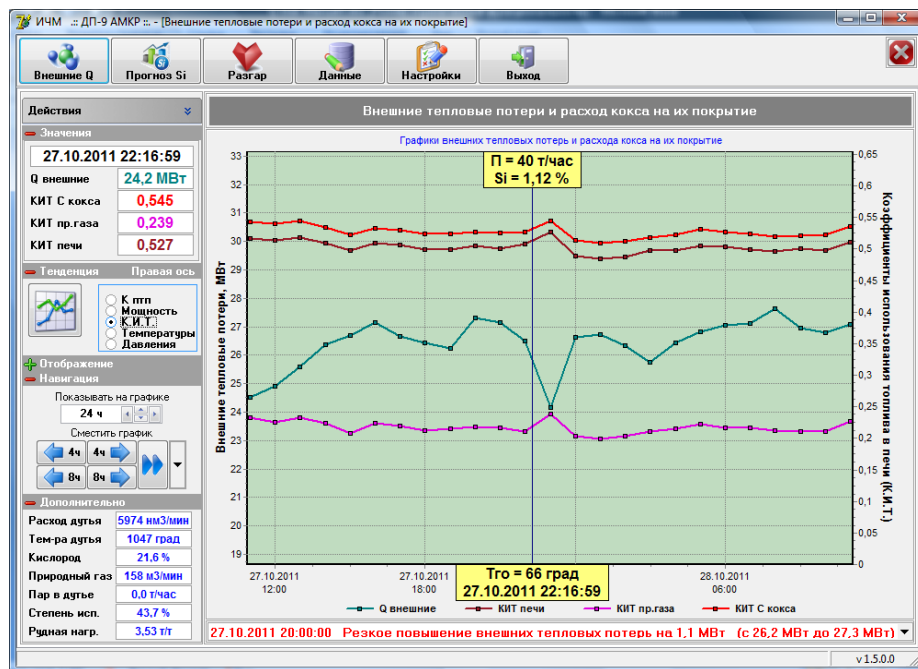


Рис. 7. Приклад відеокадру “Коефіцієнт використання теплоти палива (КВП)”

При виході на стабільний режим роботи ДП № 9 ПАТ “АМКР” підсистему “Зовнішні теплові втрати і витрата коксу на їх покриття” можна використовувати в таких напрямках:

- визначення для заданого виробництва раціонального діапазону величини зовнішніх теплових втрат;
- використання інформації про тривалу тенденцію збільшення (зменшення) величини зовнішніх теплових втрат як сигнал про знос шахти і заплечиків (утворення зайвого гарнісажу);
- використання інформації про різке збільшення (зменшення) величини зовнішніх теплових втрат як сигнал про порушення в тепловій і газодинамічній роботі печі: схід гарнісажу, розігрів (охолодження) печі, перерозподіл газового потоку до периферії (осі), канальний хід печі;
- використання інформації про величину зовнішніх теплових втрат і витрат коксу на їх покриття для оцінки ефективності існуючого і пошуку раціонального технологічного режиму ведення доменної плавки.

Висновки. Розроблено і реалізовано у складі АСУ ТП ДП № 9 ПАТ “АМКР” підсистему “Контроль зовнішніх теплових втрат і витрата коксу на їх покриття”.

Закладено основу для впровадження у складі АСУ ТП доменної печі підсистеми “Контроль теплової роботи печі”, яка працюватиме в режимі порадирика-майстра з вибору раціональних керівних рішень, що коригують тепловий і газодинамічний режими ведення доменної плавки.

Реалізація у складі АСУ доменних печей комплексних теплоенергетичних показників (теплові потужності і коефіцієнти використання теплоти палива за зонами печі, тепловий дефіцит чавуну), що характеризують тепловий баланс доменної плавки і мають чіткий фізичний зміст, дозволить гармонійно доповнити операцію “шихтування” (матеріальний баланс) і тим самим підвищити надійність прийняття науково обґрунтованих рішень щодо вибору раціонального режиму ведення доменної плавки за рахунок своєчасного виявлення та оцінки причин відхилень у тепловому режимі роботи печі.

Інтегральними величинами, які чіткіше відображають вектор зміни характеристик і показників теплової роботи, є питома величина зовнішніх теплових втрат на тону виплавленого чавуну і витрата коксу на їх покриття.

За проектного, стійкого режиму роботи внаслідок зменшення теплових втрат у системі охолодження на доменній печі резерви зменшення витрат коксу становлять 2–6 кг/т чавуну і більше. Інформація про зміну величини теплових втрат дозволяє також аналізувати і прогнозувати витрату коксу на покриття зовнішніх теплових втрат під час тривалих зупинок печі, використовуючи інформацію про величину загальної та засвоєної теплової потужності печі, КВП і теплового дефіциту чавуну.

Література

1. Семикин И. Д. Топливо и топливное хозяйство металлургических заводов / Семикин И. Д., Аверин С. И., Радченко И. И. – М. : Металлургия, 1965. – 391 с.
2. Тепловые потери и тепловая работа доменных печей / [И. Д. Семикин, Г. Т. Цыганков, А. В. Бородулин и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1972. – № 8. – С. 159–163.
3. Демин Г. И. Тепловая работа доменных печей / Г. И. Демин // Доменное и агломерационное производство : сб. трудов. – Москва, Днепропетровск, 1940. – Вып. 8. – С. 119–131.
4. Домна в энергетическом измерении / [А. В. Бородулин, А. Д. Горбунов, В. И. Романенко, Г. И. Орел]. – Кривой Рог : Мир, 2004. – 412 с.

-
5. Кожух В. Я. Контроль потерь тепла в доменной печи / В. Я. Кожух // Сталь. – 1965. – № 4. – С. 298–301.
 6. Доменное производство “Криворожстали” / В. И. Большаков, А. В. Бородулин, Н. А. Гладков и др. – Кривой Рог : СП “Мир”, 2004. – 376 с.
 7. Разработка мониторинга технического состояния ограждения доменной печи / А. Л. Чайка, А. В. Бородулин, А. А. Сохацкий и др. // Metallurgical heat engineering : сб. научн. трудов. – Днепропетровск : НМетАУ, 2005. – Т. 2. – С. 383–392.
 8. Новые методы контроля технического состояния ограждения доменных печей без остановки технологического процесса / В. И. Большаков, С. П. Суцев, А. Л. Чайка и др. // ОАО “Черметинформация”. Бюллетень “Черная металлургия”. – 2006. – № 6. – С. 27–38.
 9. Чайка А. Л. Контроль состояния ограждения доменных печей с использованием термограмм / А. Л. Чайка // Metallurgical and non-ferrous metallurgy. – 2008. – № 4. – С. 109–111.
 10. Наружные потери теплоты доменной печи объемом 5000 м³ / А. В. Бородулин, К. А. Дмитренко, В. С. Листопадов и др. // Metallurgical and non-ferrous metallurgy. – 2005. – № 1. – С. 3–8.