

Таблиця 3 – Средний теплосъем одного холодильника металлоприемника ДП №9 ОАО «ДМК» в различные периоды эксплуатации

Дата проведения замеров	Горновые холодильники			Холодильники верхней лещади		
	перепад температур охлаждающей воды, °С	расход воды, м ³ /час	теплосъем, кДж/час	перепад температур охлаждающей воды, °С	расход воды, м ³ /час	теплосъем, кДж/час
14.03.2011	1,8	5,03	37456	1,5	5,41	32274
12.04.2011	1,8	4,82	35514	1,5	5,2	32056

Выводы. Исследование результативности и эффективности проплавки железорудных окатышей КачГОК показало, что в условиях доменной плавки на сернистом коксе и повышенной основности шлака ввод указанного выше титансодержащего сырья должен быть ограничен 4-5% от массы шихты. Замеры тепловых нагрузок по высоте шахты доменной печи при повышении доли окатышей КачГОК в шихте до 11% свидетельствовали об ухудшении процесса гарнисажеобразования в районе 3-го - 4-го рядов холодильников. В то же время использование этих окатышей благодаря повышенному содержанию TiO₂, способствовало усилению гарнисажеобразования в горне, что положительно влияло на продление кампании доменной печи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Металлургия чугуна: учебник для вузов / [Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н. и др.]; под ред. Ю.С.Юсфина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 774с.

УДК 669.162.263:519.85

ДОВГАЛЮК Б.П., д.т.н., професор

Дніпродзержинський державний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ХОДОМ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

Вступ. АСУ ходом доменної печі повинна виконувати наступні функції: контроль та керування завантаженням шихтових матеріалів з оптимальним їх розподілом по перерізу печі; оптимізацію витрати дуття на рівні максимально можливої продуктивності печі; оптимізацію витрати паливних добавок та пари на зволоження дуття; контроль достовірності інформації про параметри технологічного процесу.

Постановка задачі. Розробити або удосконалити локальні підсистеми у складі АСУ ходом доменної печі для автоматизованого виконання перелічених функцій.

Результати роботи. Підсистема завантаження шихтових матеріалів. Розподіл шихти на колошнику доменної печі під час її завантаження визначає розподіл газового потоку в печі і газопроникність стовпа шихти, що значно впливає на техніко-економічні показники плавки [1-3]. Особливо широкі можливості розподілу шихти в печі мають безконусні пристрої завантаження лоткового типу. Їх використання дозволяє зменшити питому витрату коксу та збільшити продуктивність доменної печі на 5-7% при наявності ефективного системи керування [2-3].

Для доменних печей, обладнаних конусним засипним апаратом, оптимізацію розподілу шихтових матеріалів і газового потоку по перерізу печі можна здійснювати ме-

тодом гвинтового завантаження шихтових матеріалів [1]. Він забезпечує рівномірний розподіл газового потоку по перерізу печі, збільшення ступеня використання теплової та хімічної енергії газу на 4,4%, зменшення витрати коксу на 2,1% і підвищення продуктивності на 4,3%.

У випадках використання безконусних пристроїв завантаження доцільно установлювати однокотловий БЗП компактного типу фірми “PAUL WURTH”, які оснащені розташованими безпосередньо на шихтових бункерах приймальними воронками. Потік шихти через БЗП – центральний, він проходить через вісь БЗП та печі [2]. Розробка оптимальних схем завантаження для досягнення задовільного розподілу газу з високою ступінню його використання була спрощена внаслідок використання моделі завантаження “PAUL WURTH”-МИСИС. Математична модель розроблена державним технологічним університетом «Московським інститутом сталі і сплавів» за участю європейських спеціалістів-доменщиків і компанії “PAUL WURTH” та успішно протестована на адекватність на декількох заводах. При цьому використовували наступні вимірювальні прилади: радарний профільомір (розташований над поверхнею шихти), скануючий зонд (під рівнем шихти) та одноразовий випробувальний багатоточковий температурний зонд, який вводився у шихту у верхній частині печі і опускався разом з нею, посилюючи інформацію до виходу його із устрою.

Модель “PAUL WURTH”-МИСИС видає результати: пошарову структуру стовпа шихти в печі; розподіл відношення руда/кокс та порозність стовпа шихти по радіусу; оцінку форми та розташування зони плавлення.

Використання моделі в ОАО ММК дозволяє вибирати кращу систему завантаження, внаслідок чого значно підвищилась продуктивність печей.

Можна використовувати також систему, що установлена на доменній печі №9 комбінату «Криворіжсталь» [3], яка оснащена лотковим пристроєм завантаження фірми “PAUL WURTH” та транспортерною системою подачі шихти на колошник. На базі цієї системи була створена комплексна система автоматичного керування завантаженням, що має в контурі контролю і керування математичні моделі, які дозволяють прогнозувати, візуально відображати результати завантаження та розширяти можливості регулювання. Алгоритми функціонування системи розроблено НМетАУ. Система забезпечує:

формування порцій шихти і видачу їх в необхідному темпі на конвеєр, що подає шихту на колошник;

регулювання розподілу шихтових матеріалів по окружності колошника;

регулювання розподілу шихтових матеріалів по кільцевих зонах печі;

контроль роботи пристрою завантаження.

Під час використання однієї із цих систем доцільно використовувати вимірювальні прилади: радарний вимірювач профілю засипання, скануючий зонд та багатоточковий температурний зонд [2], а також контролювати температуру і профіль поверхні засипання шихти на колошнику [4]. За цією інформацією можна визначати реальний стан розподілу температур на поверхні засипання та діагностувати виникнення каналного ходу і вчасно приймати заходи для корегування роботи систем завантаження шихти.

У випадках неможливості отримання цієї інформації [2, 4] доцільно використовувати інформацію про перепади статичного тиску або температуру в печі на декількох горизонтах по висоті печі [5, 6].

Датчики статичного тиску розміщують на восьми горизонтах в шахті та на фурменних приладах з поділом їх на 8 секторів. Перший горизонт відповідає рівню засипання матеріалів на колошнику; восьмий – на нижньому рівні шахти; дев'ятий горизонт – це горизонт фурм. Кожний датчик тиску опитують один раз за 30 с і визначають його середнє значення за 10, 30 і 60 хвилин. За цей же час визначають середній тиск у кожному секторі на кожному горизонті. Визначають перепади тиску між секторами сусід-

ніх горизонтів, поміж горизонтами та загальний перепад тиску. За цією інформацією визначають керуючі діяння на перерозподіл матеріалів на колошнику під час їх завантаження та газового потоку шляхом зміни кількості та складу дуття на фурми відповідних секторів.

Метод оцінки стану технологічних процесів доменної плавки з використанням інформації про температуру в печі полягає в наступному.

Установлюють датчики температури по периферії шахти на восьми горизонтах та на фурмених приладах з поділом кожного горизонту на 8 секторів.

Всі датчики температури опитуються один раз за 30 с, потім цю інформацію усереднюють за 10, 30 і 60 хвилин.

З усередненої інформації за 10 хвилин вираховують: середнє значення температури кожного сектора на кожному горизонті; середнє значення температури на кожному горизонті; середнє значення температури кожного сектора на дев'ятому, фурменому горизонті; середню температуру фурменого горизонту. Вираховують відхилення температури кожного сектора від середньої температури горизонту. Визначають зміну параметрів між двома періодами усереднення, за якою контролюють газопроникність шихти, розподіл газового потоку та стан шару гарнісажу.

Для контролю та регулювання формуванням газового потоку на фурмах контролюють розподіл паливної добавки поміж фурмами. Для цього необхідно: контролювати температуру кожного фурменого вогнища $t_{\phi,i}$, витрату дуття та паливної добавки на кожному фурму; розраховувати теоретичну температуру горіння на кожній фурмі $t_{m,i}$; визначати різницю між теоретичною температурою і температурою фурменого вогнища.

З усередненої інформації за 10 хв визначають середню температуру кожного фурменого вогнища $t_{\phi,i}$, розраховують теоретичну температуру горіння на кожній фурмі $t_{m,i}$ і визначають різницю

$$\Delta t_i = t_{m,i} - t_{\phi,i} \quad (1)$$

Через 20 хв за кожні 10 хв визначають приріст усереднених за 10 хв значень Δt_i :

$$\Delta_i = \Delta t_i(t) - \Delta t_i(t-1) \quad (2)$$

Аналізують значення усереднених за 10 хв параметрів Δ_i :

якщо $\Delta_i < -30^\circ\text{C}$, то вважають, що збільшилось окиснення елементів чавуну на відповідній фурмі і необхідно збільшити витрату паливної добавки на цю фурму;

якщо $\Delta_i > 30^\circ\text{C}$, то вважають, що зменшилось окиснення елементів чавуну на відповідній фурмі і необхідно зменшити витрату паливної добавки на цю фурму.

Наведені операції алгоритму виконуються також за усередненою інформацією за кожні 20, 30, 60 хв та за час між випусками чавуну.

Виявлені коливання окиснення елементів чавуну на фурмах видають оператору печі для аналізу та прийняття заходів по їх компенсації та стабілізації якості чавуну.

Підсистема оптимізації витрати дуття. Основою алгоритму функціонування підсистеми є екстремальна залежність між продуктивністю печі P_m і витратою дуття V_d [7]. При збільшенні кількості дуття продуктивність зростає до визначеної межі, а потім починає зменшуватися. Зменшення продуктивності печі під час збільшення витрати дуття свідчить про те, що кількість дуття перевищує оптимальний рівень і знаходиться в області "передування". У цій області погіршується контакт між газовим потоком і шихтою, утворюються канали, можливі застої, зависання та обриви шихти, погіршується використання відновного газу, збільшується винос колошникової пилу, зростає питома витрата коксу. Управління ходом печі полягає у підтримуванні витрати дуття на оптимальному рівні, при якому продуктивність печі дорівнює максимально можливому значенню, а частинна похідна $\partial P_m / \partial V_d$ прагне до нуля. Зміна умов роботи печі спричиняє безперервний пошук опти-

мального рівня витрати дуття. При нормальному ході печі через 5...10 хвилин кроками по 20-50 м³/хв збільшують витрату дуття, вираховують приріст продуктивності ΔP_m , коефіцієнта заміни коксу паливною добавкою ΔK_3 , ступеня використання водню $\Delta \eta_{H_2}$ і оксиду вуглецю $\Delta \eta_{CO}$ та визначають частинні похідні: $\Delta P_m / \Delta V_d$; $\Delta K_3 / \Delta V_d$; $\Delta \eta_{H_2} / \Delta V_d$; $\Delta \eta_{CO} / \Delta V_d$. Витрату дуття збільшують, якщо $\Delta P_m / \Delta V_d > 0$; $\Delta K_3 / \Delta V_d \geq 0$; $\Delta \eta_{H_2} / \Delta V_d \geq 0$; $\Delta \eta_{CO} / \Delta V_d \geq 0$. Якщо при відповідному кроці збільшення витрати дуття продуктивність печі не зростає ($\Delta P_m / \Delta V_d < 0$), а ступінь використання відновного газу погіршується і зменшується коефіцієнт заміни коксу паливною добавкою, перепади тиску перевищують допустимі значення, то кількість дуття перевищує оптимальний рівень. Виявляються можливі причини порушення ходу: аналізують перепади тиску газу в печі і визначають розподілення газового потоку та шихтових матеріалів; аналізують ступінь використання відновного газу, оптимальні значення витрати паливних добавок та зволоження дуття, теоретичну температуру горіння тощо. Погіршення газопроникності шихти та розподілу газового потоку може спричинити зниження рівня оптимальної кількості дуття. В таких випадках пошук оптимального значення витрати дуття здійснюють зменшенням його витрати кроками по 20-50 м³/хв через 5...10 хв.

Підсистема оптимізації витрати паливних добавок. Алгоритм функціонування підсистеми полягає у наступному [8]. По усередненій за годину інформації про параметри процесу вираховують значення коефіцієнта заміни коксу паливною добавкою K_3 , кількість заміненого коксу паливною добавкою \mathcal{E}_k , суму заощаджених коштів від використання паливної добавки $ПО$, продуктивність печі P_m .

Сума заощаджених коштів від використання паливної добавки визначається:

$$ПО = \mathcal{E}_k C_k - V_{nd} C_{nd} - V_o C_o + (P_\phi - P_3) E, \text{ грн} / \text{г}, \quad (3)$$

де C_k , C_{nd} , C_o – ціна коксу, паливної добавки та технологічного кисню; E – умовно постійні витрати на чавун; P_ϕ , P_3 – фактична і задана продуктивність печі.

Пошук оптимальної кількості паливної добавки здійснюють зміною її витрати щогодини на $\pm 5...20\%$ від попереднього значення. Після кожної календарної години визначають приріст показників:

$$\begin{aligned} \Delta ПО &= ПО(t) - ПО(t-1); \\ \Delta V_{nd} &= V_{nd}(t) - V_{nd}(t-1); \\ \Delta P_m &= P_m(t) - P_m(t-1); \\ \Delta \mathcal{E}_k &= \mathcal{E}_k(t) - \mathcal{E}_k(t-1). \end{aligned}$$

Якщо $|\Delta V_{nd}| > 5-20\%$, а $|\Delta ПО / \Delta V_{nd}| > 0,01$, то визначають відношення $\Delta ПО / \Delta V_{nd}$; $\Delta P_m / \Delta V_{nd}$.

Якщо $\Delta ПО / \Delta V_{nd} > 0$, а $\Delta P_m / \Delta V_{nd} \geq 0$, то витрату паливної добавки збільшують на 5...20%.

Якщо $\Delta ПО / \Delta V_{nd} < 0$, а $\Delta P_m / \Delta V_{nd} \leq 0$, витрату паливної добавки зменшують на 5...20%.

Якщо $\Delta ПО / \Delta V_{nd} = \pm 0,01$ і $\Delta P_m / \Delta V_{nd} = 0 \pm 0,005$, то витрата паливної добавки знаходиться на оптимальному рівні.

У всіх випадках, коли $\Delta P_m / \Delta V_{nd} < 0$, витрату паливної добавки не збільшують.

При зміні витрати паливної добавки теоретичну температуру горіння підтримують у заданих границях [9]. Для цього видаються рекомендації на зміну витрати кисню чи пари на зволоження дуття, які виконуються одночасно із зміною витрати паливної добавки.

Кількість заміненого коксу паливною добавкою компенсують зміною його маси у подачі з урахуванням прогнозних значень хімічного складу чавуну і шлаку та їх температури.

Підсистема оптимізації витрати пари на зволоження дуття. При зміні вологості дуття ($\Delta\lambda$) у горні печі витрачається тепло на її розкладання ($\kappa\text{Дж}/\text{м}^3$ комбінованого дуття)

$$\Delta q_1 = -10802 \cdot 0,001244 \Delta\lambda = -13,44 \Delta\lambda,$$

а в зоні непрямого відновлення виділяється тепло від утворення H_2O

$$\Delta q_2 = 13,44 \Delta\lambda \cdot \Delta\eta_{\text{H}_2}.$$

Сумарна зміна приходу тепла буде

$$\Delta q_{\text{H}_2\text{O}} = q_1 + q_2 = -13,44 \Delta\lambda (1 - \eta_{\text{H}_2}).$$

Якщо при зміні вологості дуття змінюється ступінь використання відновного газу, то це викличе додатковий вплив на тепловий стан печі. За рахунок покращання ступеня використання водню ($\Delta\eta_{\text{H}_2}$) та оксиду вуглецю ($\Delta\eta_{\text{CO}}$) буде додатковий прихід тепла ($\kappa\text{Дж}/\text{м}^3$ комбінованого дуття)

$$\Delta q_{\text{H}_2} = 10802 \Delta\eta_{\text{H}_2} (\Sigma\text{H}_2 - 0,001244 \Delta\lambda);$$

$$\Delta q_{\text{CO}} = 12648 \Delta\eta_{\text{CO}} \cdot \text{CO}_2.$$

До того ж, вологість дуття, розкладаючись у горні на водень та кисень, викликає відповідну зміну інтенсивності горіння вуглецю на фурмах ($\kappa\text{г}/\text{м}^3$ комбінованого дуття)

$$\Delta C_{\text{чф}} = 12/22,4 \cdot 0,001244 \Delta\lambda = 0,0006642 \Delta\lambda,$$

чи інтенсивності горіння коксу

$$\Delta K_i = 0,0006642 \cdot \Delta\lambda \cdot V_{\text{д}}/C_{\text{к}}, \text{ кг}/\text{хв}.$$

Зміни приходу тепла та інтенсивності горіння коксу можна виразити через масу коксу та продуктивність печі. Так зміна ступеня використання водню еквівалентна зміні витрати коксу на ($\kappa\text{г}/\text{хв}$)

$$\Delta K_{\text{H}} = 10802 \Delta\eta_{\text{H}_2} (\Sigma\text{H}_2 - 0,001244 \Delta\lambda) V_{\text{кд}}/q_{\text{к}}, \quad (4)$$

де $q_{\text{к}}$ – теплота згоряння $\kappa\text{г}$ коксу у печі $\kappa\text{Дж}/\kappa\text{г}$,

$$q_{\text{к}} = 1,8667 C_{\text{к}} (5250 + 12648 \eta_{\text{CO}}).$$

Зміна ступеня використання оксиду вуглецю еквівалентна зміні маси коксу на ($\kappa\text{г}/\text{хв}$)

$$\Delta K_{\text{CO}} = 12648 \Delta\eta_{\text{CO}} \cdot \text{CO}_2 \cdot V_{\text{кд}}/q_{\text{к}}. \quad (5)$$

Потрібна маса коксу на компенсацію тепла, яке витрачається на розкладання вологості дуття у горні ($\kappa\text{г}/\text{хв}$)

$$\Delta K_{\text{H}} = -13,44 (1 - \eta_{\text{H}_2}) \Delta\lambda \cdot V_{\text{д}}/q_{\text{к}}. \quad (6)$$

Сумарна економія (знак "+") чи перевитрата (знак "-") маси коксу при зміні вологості дуття буде

$$\Delta K_{\Sigma} = \Delta K_{\text{H}} + \Delta K_{\text{CO}} + \Delta K_{\text{H}}. \quad (7)$$

Приріст продуктивності печі від зміни вологості дуття буде

$$\Delta P_{\lambda} = 0,0006642 \Delta\lambda \cdot V_{\text{д}}/(C_{\text{к}} \cdot k), \text{ кг}/\text{хв}, \quad (8)$$

де k – середньодобова питома витрата коксу, $\kappa\text{г}/\text{т}$ чавуну.

Комплексним показником ефективності зміни вологості дуття є заощадження грошових коштів ($грн/г$)

$$\Delta PO_{\lambda} = 60 (\Delta K_{\Sigma} \cdot C_{\kappa} + \Delta P_{\lambda} \cdot E) / 1000 - \Delta V_n \cdot C_n, \quad (9)$$

де C_n – ціна пари, $грн/т$; ΔV_n – зміна витрати пари на зволоження дуття, $т/г$.

В умовах роботи доменної печі №8 ДМК провели дослідження показників ефективності зволоження дуття. Дослідження показали, що у більшості випадків збільшення вологості дуття сприяло покращанню використання відновного газу та підвищенню продуктивності печі, внаслідок чого піч розігрівалася. Спостерігалися також випадки, коли збільшення вологості не впливало на відновну роботу газового потоку чи погіршувало її.

Дослідження підтвердили доцільність контролю ефективності зволоження дуття та оптимізації витрати пари на зволоження.

Підсистема контролю достовірності інформації. Алгоритм функціонування підсистеми полягає в наступному [10]: із середньогодинної інформації про технологічні параметри визначають склад колошникового газу, який порівнюють з показами відповідних газоаналізаторів. Якщо різниці між ними перевищують задані значення, то роблять висновок, що інформація про технологічні параметри недостовірна і визначають недостовірність інформації конкретного параметру.

Висновки. Розроблено нову автоматизовану систему управління ходом доменної печі, яка включає підсистеми: завантаження шихтових матеріалів та оптимізацію їх розподілу по перерізу печі; оптимізації витрати дуття на рівні максимально можливої продуктивності печі; оптимізації витрати паливних добавок і зволоження дуття. Впровадження системи дозволить зменшити витрату енергоносіїв на 3-4% та збільшити продуктивність печей на 8-10%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Исследование работы доменной печи с усовершенствованной винтовой загрузкой шихтовых материалов / А.П.Фоменко, Н.В.Крутас, А.В.Кузьмин [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2011. – № 1. – С.10-12.
2. Технологические аспекты работы доменных печей с БЗУ™ “PAUL WURTH” / Р.С.Тахаутдинов, С.Н.Ушаков, В.И.Сединкин [и др.] // *Сталь.* – 2008. – № 11. – С.15-17.
3. Тараканов А.К. Исследование приоритетов в развитии автоматизированных систем управления доменным процессом / А.К.Тараканов, В.П.Иващенко, В.П.Лялюк // *Новини науки Придніпров'я: збірка наукових доповідей наук.-практ. конф., присвяченої 100-річчю відомого вченого Г.А.Воловіка, травень 2010р.* – Дніпропетровськ, 2010. – С.15-22.
4. Испытания технологии выплавки чугуна с использованием данных системы контроля температуры и профиля поверхности засыпи шихты / В.А.Долинский, Л.Д.Никитин, С.Ф.Бугаев [и др.] // *Известия ВУЗов. Черная металлургия.* – 2009. – №2. – С.9-12.
5. Довгалюк Б.П. Автоматизована система керування ходом доменної печі / Б.П.Довгалюк, С.С.Самохвалов // *Вісник Технологічного університету Поділля: науковий журнал.* – Хмельницький. – 2004. – №2, ч.1, Т. 1. – С.15-18.
6. Довгалюк Б.П. Можливості використання інформації про температуру в доменній печі для контролю та керування технологічними процесами / Б.П.Довгалюк, В.В.Багрій, Ю.В.Фомін // *Вісник Технологічного університету Поділля: науковий журнал.* – Хмельницький. – 2002. – Том 2. – С.50-53.

7. Довгалюк Б.П. Алгоритм управління тепловим режимом и ходом доменної печі / Б.П.Довгалюк // Проблеми автоматизованого управління доменним виробництвом: матеріали Всесоюзного семінара. – К.: Наукова думка. – 1974. – С.45-57.
8. Довгалюк Б.П. Комп'ютерна система оптимізації витрат паливних добавок в доменній плавці / Б.П.Довгалюк // Вісник Технологічного університету Поділля: науковий журнал. – Хмельницький. – 2003. – № 3, Том 1. – С.15-18.
9. Довгалюк Б.П. Альтернативи використання природного газу в доменній печі / Б.П.Довгалюк // Збірка наукових праць ДДТУ.. – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2008. Випуск №9 – С.35-41.
10. Довгалюк Б.П. Інформаційне забезпечення АСУ ТП доменної печі / Б.П.Довгалюк // Вісник Технологічного університету Поділля: науковий журнал. – Хмельницький. – 2002. – Том 1. – С.91-95.

УДК 669.162.263:519.85

ДОВГАЛЮК Б.П., д.т.н., професор

Дніпродзержинський державний технічний університет

ДОСТОВІРНІСТЬ ІНФОРМАЦІЇ – ГОЛОВНА УМОВА ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ АСУ ТП ДОМЕННІЙ ПЕЧІ

Вступ. Аналіз ефективності використання АСУ ТП доменних печей показує, що досягнути бажаних результатів по оптимізації ходу плавки і стабілізації якості чавуну ще не вдалося. Головною причиною цього є недостовірність інформації про параметри процесу плавки.

Постановка задачі. Дослідити вплив достовірності інформації на точність контролю технологічного процесу та розробити метод захисту функціонування АСУ ТП від недостовірної інформації.

Результати роботи. Вперше для розв'язання проблеми автоматизації теплового стану доменної плавки були обґрунтовані вимоги щодо достовірності інформації [1]. Так ще в кандидатській дисертації в 1965 р. були визначені допустимі похибки інформації: про склад колошникового газу ($\leq \pm 0,05\%$) та витрату дуття ($\leq \pm 25 \text{ м}^3/\text{хв}$). Потім ці вимоги було поширено до інформації майже про всі основні параметри процесу [2, 3].

Комплексні показники теплового стану доменної плавки є функціями багатьох незалежних змінних величин (параметрів процесу). Можливо, що вплив похибки інформації про всі параметри буде складатися. У такому випадку гранична абсолютна похибка функції визначається сумою абсолютних значень її частинних диференціалів [2,4], тобто якщо

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \text{ то}$$

$$dy = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} dx_i, \quad (1)$$

де y – комплексний показник; x_1, x_2, \dots, x_n – параметри процесу; dy – абсолютна похибка комплексного показника; dx_i – абсолютна похибка i -го параметру.

При великій кількості незалежних змінних ймовірність того, що всі частинні диференціали будуть мати однакові знаки, дуже мала. Тому похибку функції краще визначати з виразу [3, 5]