

КОМПЛЕКСНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНОЇ ШИХТИ В ДОМЕННУ ПІЧ

Іванча М.Г., Вишняков В.І., Муравйова І.Г., Щербачов В.Р.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ

Анотація. *Раціональний режим завантаження доменної печі – найважливіша умова її високоефективної роботи. Вибір раціональних значень управляючих параметрів режиму завантаження здійснюється на підставі інформації, що отримується за допомогою інструментальних засобів та математичних моделей. Математичні моделі процесу завантаження доменної печі є необхідними компонентами експертних (інтелектуальних) систем управління доменною плавкою. Представлена комплексна математична модель процесу завантаження багатокомпонентної шихти у доменну піч відрізняється від відомих розробок урахуванням перерозподілу компонентів в об'ємі завантажуваних порцій під час руху трактом «шихтоподача – доменна піч», що забезпечує можливість отримання розрахункових характеристик розподілу кожного компонента шихти та визначення складу утворюваних сумішей шихтових матеріалів у будь-якій заданій зоні колошника. Наявність такої моделі відкриває нові можливості в управлінні процесом доменної плавки, а також у проведенні аналітичних досліджень умов шлакоутворення та розподілу властивостей розплавів по перерізу доменної печі.*

Ключові слова: *доменна піч, система завантаження, експертна система, шихта, режими, розподіл, математична модель, компоненти, розплави.*

Вступ. Раціональний режим завантаження доменної печі, повною мірою відповідний шихтовим умовам, що склалися, і дутьовому режиму, є однією з основних умов економічної високоефективної роботи доменної печі. Спрямована розробка та обґрунтований вибір параметрів режиму завантаження можуть здійснюватися за наявності розрахункових інструментів, що забезпечують можливість попередньої оцінки впливу змін режиму завантаження на хід плавки. Такими інструментами є математичні моделі процесу завантаження доменної печі, які є необхідним компонентом інтелектуальних (експертних) систем управління доменною плавкою. Незважаючи на значну кількість розробок у цій галузі, яка значно зросла з оснащенням доменних печей безконусними завантажувальними пристроями (БЗП), можна відзначити, що більшість математичних моделей процесу

завантаження доменної печі забезпечують розрахункове визначення характеристик розподілу коксу та залізорудної частини шихти в цілому, тобто, розподілу рудних навантажень, без урахування розподілу окремих компонентів, що входять до складу обох частин шихти. Характерним для більшості відомих моделей є відсутність урахування процесів перерозподілу компонентів у об'ємі подачі (порції) на всіх стадіях її руху трактом «шихтоподача – поверхня засипу». В Інституті чорної металургії НАН України ім. З.І. Некрасова (ІЧМ НАНУ) протягом останніх років розроблена та безперервно вдосконалюється комплексна математична модель процесу завантаження багатоконпонентної шихти в доменну піч, яка являє собою результат синтезу низки математичних моделей, що максимально можливою мірою враховують особливості руху багатоконпонентних порцій шихтових матеріалів від шихтоподачі до поверхні засипу, і, насамперед, переміщення та перемішування масивів шихтових матеріалів у процесі формування порцій на головному конвеєрі і у скіпах, шлюзування їх у бункері БЗП та розподілу на поверхні засипу [1].

Основний матеріал. Загальна блок - схема алгоритму моделювання процесу завантаження багатоконпонентних порцій шихтових матеріалів в доменну піч показана на рис. 1.

Складовими комплексної математичної моделі процесу завантаження багатоконпонентної шихти у доменну піч є наступні.

Модель формування багатоконпонентних порцій шихти в системах завантаження з конвеєрною та зі скіповою доставкою шихти на колошник.

Структура порції в системах завантаження з конвеєрною доставкою шихти на колошник однозначно задається присвоєнням компонентам відповідних індексів, завданням мас доз компонентів, визначенням провідного компонента (що надходить першим до бункеру завантажувального пристрою), завданням значень зміщення початку дози інших (ведених) компонентів, виражених в одиницях маси щодо початку дози провідного компонента. При конвеєрному завантаженні у бункер БЗП кожна частина порції на конвеєрі, що відрізняється складом компонентів, утворює в бункері окремий шар, в якому

зберігаються вихідні маси компонентів та їх співвідношення. У системах із скіповою доставкою шихти на колошник порція шихтових матеріалів у закінченому вигляді формується у бункері завантажувального пристрою. У зв'язку з цим, разом з послідовністю завантаження скіпів подачі, має задаватися розташування шарів компонентів та їх сумішей для кожного скіпа подачі у вигляді індексу шару, що відповідає черговості надходження компонента або суміші компонентів у скіп, із зазначенням мас шихтових матеріалів у кожному шарі.

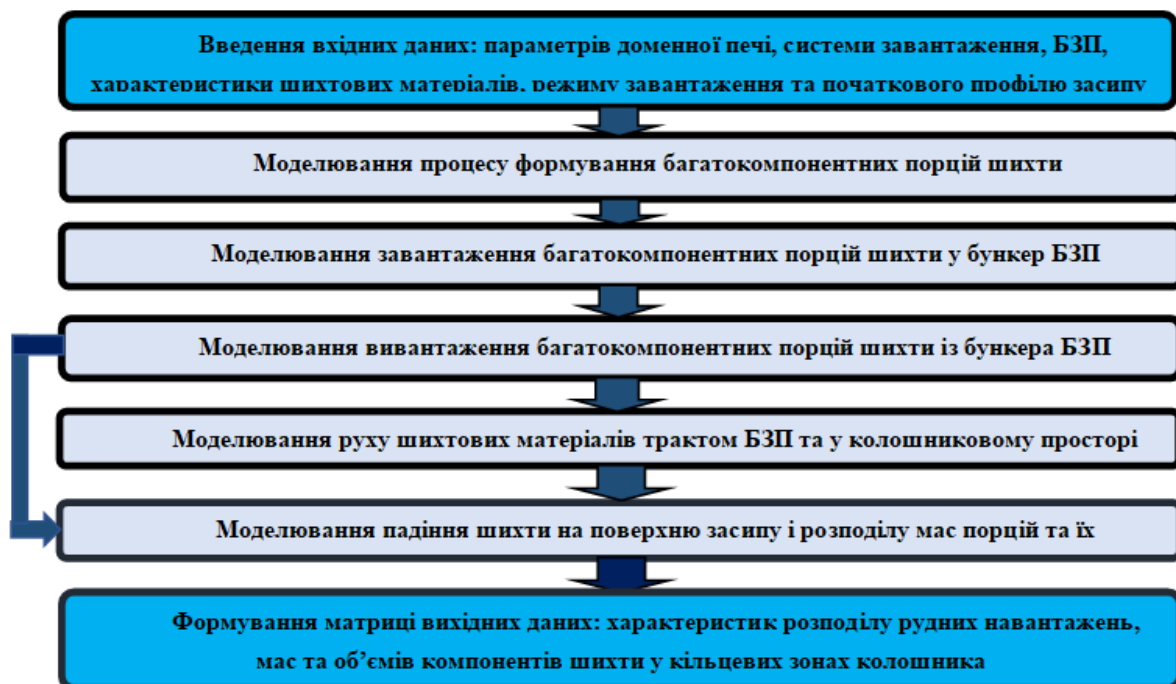


Рисунок 1 - Загальна блок - схема алгоритму моделювання процесу завантаження багатокомпонентних порцій шихтових матеріалів у доменну піч.

Вивантаження матеріалів зі скіпа у бункер БЗП здійснюється в процесі руху скіпа в розвантажувальних кривих, починаючи з моменту, коли кут нахилу вільної поверхні матеріалу у скіпі до горизонталі перевищить кут опору зсуву матеріалу. Під час вивантаження скіпа відбувається інтенсивне перемішування шарів шихти, що сформувалися під час його завантаження. Схема розташування завантажених та вивантажуваних шарів шихтових матеріалів у скіпі показана на рис. 2 а. Вихідними даними моделі є маса, об'єм та компонентний склад шарів шихти, що завантажуються в бункер БЗП.

Модель завантаження багатоконпонентних порцій шихти в бункер БЗП, що враховує, у тому числі, перерозподіл компонентів в об'ємі скіпа при повороті його в розвантажувальних кривих.

Визначення розподілу мас компонентів та їх сумішей в об'ємі порції, завантаженої у бункер БЗП, для варіантів скіпового та конвеєрного завантаження бункера здійснюється ідентично. Виходячи з відомого об'єму шару шихтових матеріалів завантажуються в бункер БЗП та його компонентного складу, визначаються координати точок перетину прямих, обмежуючих поверхню шихтових матеріалів, що утворюється після завантаження даного шару, з лініями внутрішнього контуру бункера БЗП. Таким чином, стає можливим представити структуру порції в бункері БЗП у вигляді послідовного ряду шарів різної форми з відомим об'ємом та складом компонентів кожного шару, що за наявності індексу кожного шару однозначно характеризує структуру багатоконпонентної порції в бункері (рис. 2 б).

Модель вивантаження багатоконпонентних порцій шихти із бункера БЗП, що забезпечує розрахункове визначення змісту кожного компонента у вихідному потоці.

Для опису процесу руху шихтових матеріалів у бункерах використаний один із підходів, на базі якого на даний момент створені математичні моделі для конкретних об'єктів та отримані результати, прийнятні для практичного використання [2].

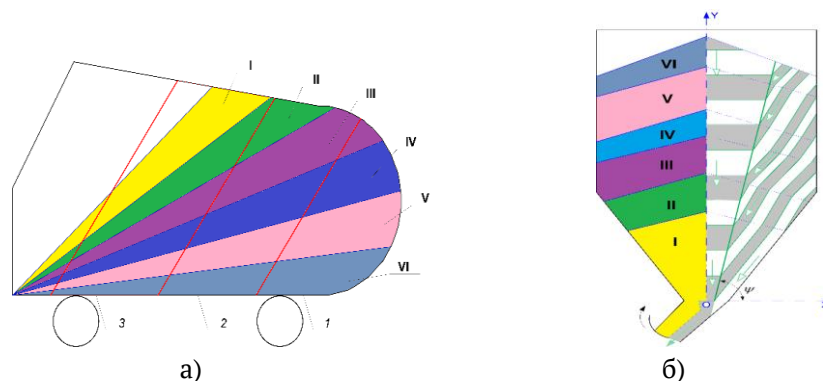


Рисунок 2 - Схема розташування завантажених та вивантажуваних шарів шихтових матеріалів у скіпі (а) та у бункері БЗП (б).

1 – 3 – шари шихтових матеріалів, що сформувалися під час завантаження скіпа;

I - VI – вивантажувані зі скіпа (завантажені в бункер БЗП) шари шихтових матеріалів

Цей підхід базується на описі закономірностей витоку шихтового матеріалу у вигляді залежностей, що визначають об'єм зони активного руху матеріалу («фігури випуску»), та об'єми масивів сипучого матеріалу, що послідовно надходять надалі у зону активного руху матеріалу і рухаються вертикально до випускного отвору бункера (рис. 2). У моделі задаються форма зони активного руху матеріалу та послідовність виходу елементарних об'ємів матеріалу із бункера, які багаторазово підтверджені експериментально. Вихідними даними моделі є маси компонентів у кожному заданому об'ємі матеріалу, що вивантажується.

Модель руху шихтових матеріалів по тракту БЗП (у клапанному вузлі, центральній трубі та по лотковому розподільнику) та у колошниковому просторі.

Модель містить математичний опис процесу руху шихтових матеріалів від площини випускного отвору бункера БЗП до їх сходу з лотка, що обертається. Для опису складного руху частинок шихти по поверхні лотка використовується система диференціальних рівнянь. Вихідними даними моделі є величина та напрямок швидкості руху частинок шихти в момент сходу з лотка.

Модель падіння багатокомпонентної шихти на поверхню засипу та розподілу на ній у вигляді формування шарів, що забезпечує розрахункове визначення компонентного складу шихти у заданій зоні колошника.

Модель містить рівняння руху шихти у колошниковому просторі доменної печі та залежності, які описують процес формування поверхні засипу на колошнику у вигляді поступового нарощування та розподілу об'єму шихтових матеріалів, що вивантажуються, до повного спорожнення бункера БЗП. У моделі враховані особливості формування поверхні засипу в пристінковій та осьовій зонах доменної печі, а також вплив процесів перерозподілу коксового шару при вивантаженні на нього залізорудної порції. Модель забезпечує розрахункове визначення характеристик розподілу мас та об'ємів шихтових матеріалів, що вивантажуються у різних кутових положеннях лотка, по кільцевим зонам колошника. Вміст компонентів шихти та її склад у кільцевих зонах колошника визначається на підставі даних про вміст компонентів у

потоці шихти у заданих кутових положеннях лотка, які є вихідними даними моделі вивантаження порцій шихти із бункера БЗП. Приклад фрагмента таблиці з вихідними даними комплексної математичної моделі процесу завантаження багатокomпонентної шихти у доменну піч за результатами моделювання циклу завантаження, що складається з 10 подач, наведено нижче (табл. 1).

Таблиця 1

Фрагмент таблиці з вихідними даними комплексної математичної моделі процесу завантаження багатокomпонентної шихти у доменну піч.

Параметр, характеристика	№ кільцевої зони колошника									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Значення (у відносних одиницях)									
Радіус межі зони	0.316	0.447	0.548	0.632	0.707	0.775	0.837	0.894	0.949	1.000
Радіус середини зони	0.158	0.382	0.498	0.590	0.670	0.741	0.806	0.866	0.922	0.974
Маса агломерата	0.059	0.088	0.116	0.111	0.100	0.089	0.091	0.103	0.115	0.128
Маса окатишів	0.021	0.041	0.077	0.110	0.136	0.160	0.145	0.119	0.104	0.088
Маса коксу	0.156	0.131	0.097	0.087	0.085	0.082	0.088	0.092	0.092	0.091
Маса скрапу	0.020	0.040	0.076	0.109	0.145	0.180	0.137	0.113	0.099	0.081
Маса антрациту	0.018	0.038	0.076	0.110	0.130	0.145	0.152	0.125	0.111	0.096
Маса «коксу – горіху»	0.026	0.047	0.083	0.116	0.130	0.141	0.146	0.119	0.104	0.089
Маса руди	0.050	0.079	0.117	0.129	0.111	0.087	0.099	0.103	0.108	0.117
Маса рудної частини	0.045	0.070	0.101	0.111	0.114	0.117	0.111	0.109	0.111	0.112
Маса коксової частини	0.149	0.125	0.097	0.090	0.089	0.087	0.093	0.093	0.090	0.088
Рудне навантаження	0.300	0.557	1.046	1.229	1.289	1.342	1.200	1.172	1.227	1.279
Об'єм рудної частини	0.046	0.071	0.103	0.111	0.113	0.115	0.109	0.108	0.111	0.113
Об'єм коксової частини	0.152	0.127	0.097	0.090	0.088	0.086	0.091	0.092	0.090	0.088

Висновки. Представлена модель протягом останніх 15 років успішно використовувалася ІЧМ для вирішення низки технологічних завдань, щодо вибору раціональних режимів завантаження діючих доменних печей, які

працюють на багатокомпонентній шихті, в тому числі, для вибору параметрів спеціальних режимів завантаження, що забезпечують створення необхідних умов гарнісажеутворення або промивання в залежності від поточних вимог процесу плавки. Інформація про розподіл компонентів шихти по перерізу печі, яка може бути отримана при використанні розробленої комплексної моделі, необхідна також для проведення аналітичних досліджень фізико – механічних та фізико – хімічних процесів у доменній печі, зокрема, умов шлакоутворення та розподілу властивостей розплавів у різних зонах доменної печі.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Complex Mathematical Model of the Distribution of Multicomponent Charge in a Blast Furnace / N.G. Ivancha, I.G. Murav'eva, E.I. Shumel'chik, V.I. Vishnyakov, Yu.S. Semenov. Metallurgist. May 2018. Volume 62. Issue 1–2. P. 95–100.
2. Nakano K., Isei Y., Natsui T., Watanabe K., Kishino T. Technical Report Tracking Technique of Burden Materials for Blast Furnace with Bell-less Top by Using RFID. Nippon Steel technical report, March 2020, no. 123, pp. 83-89.

COMPLEX MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF LOADING A MULTICOMPONENT CHARGE INTO A BLAST FURNACE

Ivancha M.G., Vishnyakov V.I., Myrav'yova I.G., Shcherbachov V.R.

Abstract. *The rational mode of loading the blast furnace is the most important condition for its highly efficient operation. The selection of rational values of the control parameters of the load mode is carried out on the basis of information obtained with the help of instrumental tools and mathematical models. Mathematical models of the process of blast furnace loading are necessary components of expert (intelligent) control systems for blast furnace melting. The presented complex mathematical model of the process of loading a multicomponent charge into a blast furnace differs from known developments taking into account the redistribution of components into the volume of loaded portions during movement along the path "charge feed - blast furnace", which provides the possibility of obtaining calculated characteristics of the distribution of each component of the charge and determining the composition of the formed mixtures of charge materials in any given zone of the furnace. The existence of such a model opens up new opportunities in the management of the blast furnace smelting process, as well as in conducting analytical studies of the conditions of slag formation and the distribution of properties of melts across the section of the blast furnace.*

Keywords: *blast furnace, loading system, expert system, charge, modes, distribution, mathematical model, components, melts*