

The practical value lies in increasing the efficiency and use of software systems in solving problems of constructing, calculating characteristics and visualizing the trajectory of movement of unmanned aerial vehicles.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, spatial map, model, parameters, trajectory, route, coordinate algorithm coordinate system, computer system, graph*

Рецензент: доц., канд. техн. наук Левицька Т. О.

Стаття надійшла 30.11.2020 р.

УДК 004.42

Абдулалімов В. Є., Дубовкіна М. Ю., Левицька Т. О., Хохлова К. Ю.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОВОЇ РОБОТИ ФУТЕРОВКИ ЧАВУНОВОЗНИХ КОВШІВ

В роботі розглядається розробка системи моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів, що протікає в міру просування рідкого чавуну від моменту випуску з доменної печі до заливання його в сталеплавильний агрегат. Для киснево-конвертерного виробництва велике значення має як стабільний хімічний склад, так і температура чавуну. Це дозволяє значно збільшити продуктивність сталеплавильних агрегатів в результаті стандартизації процесів і усунення плавок з додувками, а також скоротити втрати металу.

Наукова необхідність полягає в візуалізації цього процесу, в розрахунку його характеристик і оптимізації технологічних і конструкційних параметрів з метою поліпшення якості продукції. Метою даної роботи є дослідження і розробка системи моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів, яка складається з визначення температури контакту футеровки з розплавом чавуну і визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою. Для досягнення зазначеної мети вирішені наступні завдання: проведений аналіз відомих підходів до визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою, обрані методи та засоби вирішення наукової проблеми, отримані залежності для визначення температури контакту футеровки з розплавом і товщини активного шару футеровки, удосконалено метод визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою, визначена акумулююча здатності активного шару футеровки в процесі експлуатації, розроблена система моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів. В основі математичної моделі лежить метод визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою чавуновозного ковша, в якому враховані температура поверхні (контакту) футеровки - чавун, що залежить від теплофізичних властивостей вогнетрива і розплаву. В роботі встановлено зміну цих властивостей в результаті проникнення чавуну в шви і пори вогнетривної кладки. Визначено фактичне значення коефіцієнта акумулюючої здатності футеровки чавуновозних ковшів, що дозволило встановити причину підвищених втрат на акумуляцію і намітити заходи щодо їх зниження.

Ключові слова: *слова: модель, акумулююча здатність, тепла робота, футеровки, чавуновозний ковш, розплав.*

Вступ. Киснево-конвертерний процес зайняв перше місце серед різних процесів виробництва сталі. Він являє собою поєднання сучасних технологій виплавки, позапічної обробки і безперервного розливання [1-2]. Показники конвертерної плавки залежать від температури чавуну, які визначаються не тільки ходом доменного процесу, а і умовами транспортування [3]. У найближчі 10 - 15 років схема доменна піч - конвертер в Україні залишається найбільш прийнятною і економічно виправданою. Для киснево-конвертерного виробництва велике значення має як стабільний хімічний склад, так і температура чавуну [4-6]. Це дозволяє значно збільшити продуктивність сталеплавильних агрегатів в результаті стандартизації процесів і усунення плавок з додувки, а також скоротити втрати металу. Температура чавуну на випуску з доменної печі становить 1400 °С -1450 °С. При існуючому технологічному процесі доставки в 140 тонних чавуновозних ковшах рідкого металу від доменної печі (ДП) до міксера киснево-конвертерного цеху (ККЦ), падіння температури складає близько 100 °С.

Цей факт свідчить про те, що ресурси щодо вдосконалення процесу доставки чавуну не вичерпані і потребують не тільки більш детального розгляду, а й розробки заходів щодо зниження втрат. В даний час немає чітко сформульованих заходів щодо зниження акумулюючих властивостей ковшів, які подаються під налив з температурою кладки не менше 700°. Цей факт не дозволяє економити додаткового тепла. Також немає наукового підходу до зниження втрат тепла кожухом ковша. Більшість заходів здійснюється візуально і залежить від кваліфікації персоналу. Як відомо людський фактор може привести до помилок, а точний математичний розрахунок завжди є більш надійним інструментом. Теплофізичні властивості внутрішнього шару футеровки (активного шару), змінюються за рахунок взаємодії з рідким чавуном і тільки математична модель дозволить визначитись якою повинна бути величина коефіцієнта акумуляції для оптимального процесу, як зменшити взаємодію футеровки з чавуном, тобто знизити ймовірність проникнення металу в пористий вогнетрив і які основні заходи необхідно виконати, щоб активний робочий шар футеровки менше зношувався в процесі експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Визначення температури на кордоні активного шару і решти футеровки необхідно для розрахунку зовнішніх втрат через кожух ковша, проте довідкові дані мають розбіжності (табл. 1), тому що вони отримані без урахуванням змін теплофізичних властивостей активного шару [5-7]. Треба взяти до уваги, що в процесі експлуатації змінюються теплофізичні властивості шамоту. Скоріш за все, в першу чергу змінюється щільність.

Таблиця 1 – Теплофізичні властивості шамотної цегли за довідковими даними

Теплофізичні характеристики	[5]	[6]	[7]
Щільність - ρ , кг/м ³	2950	2100	2500
Теплоємність - c , кДж/кг °С	0,782	1,15	1,087
Коефіцієнт теплопровідності - λ , Вт/м °С	0,503	1,11	1,4
коефіцієнт температуропровідності - a , м ² /с	0,2x10-6	0,4x10-6	0,5x10-6
Коефіцієнт акумулюючої здатності $\sqrt{\lambda c \rho}$	1077	1637	1950

Математична модель дозволить отримати фактичні дані по теплофізичних властивостях будь-якій поверхні (футеровки), яка контактує з розплавленим металом і тоді можна більш точно розрахувати час охолодження і прийняти рішення про те, яку футеровку треба використовувати.

Метою даної статті є публікація результатів дослідження і розробки системи моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів, яка складається з визначення температури контакту футеровки з розплавом чавуну і визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою.

Виклад основного матеріалу.

У кожному циклі внутрішня частина футеровки порожнього ковша за час транспортування охолоджується не на всю глибину, а лише частково. Цю частину назовемо активним шаром

Розглянемо теплообмін активного шару футеровки з навколишнім середовищем. Нехай час охолодження і нагрівання активного шару футеровки однаково, тоді і в період нагріву і в період охолодження товщина активного шару буде незмінною і визначається

$$\delta = \sqrt{a\tau} \quad (1)$$

де a - коефіцієнт температуропровідності, який визначається експериментально з умов стаціонарності.

τ - час поширення потоку тепла

Рівність (1) має місце в будь-який момент часу. Щільності теплових потоків всередині активного шару визначаються його теплофізичними властивостями і різницею температур шару і поверхні. Останнє залежить від інтенсивності теплообміну з дотичним середовищем. Температуру поверхні можна змінювати, змінюючи зовнішній теплообмін.

Щільність теплового потоку q_l при охолодженні може бути визначена за формулою, наведеною в [8]

$$q(\tau) = \sqrt{\lambda c \rho} (T_k - T_{ox}) \frac{1}{\sqrt{\pi \tau}} \quad (2)$$

де T_k - температура контакту;

T_{ox} - температура охолодження

Відповідно

$$\Delta Q_2 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\lambda c \rho \tau} (T_k - T_{ox}) \quad (3)$$

Зробимо заміну

$$\sqrt{\lambda c \rho \tau} = \sqrt{c^2 \rho^2 \delta^2} = c \rho \delta \quad (4)$$

Інформаційні технології

отримаємо теплоємність охолодженої поверхні (з розмірністю Дж/м²·К) площею $F = 1\text{ м}^2$, тоді теплоємність охолодженого шару є величина $\epsilon\delta F$, де F – площа поперечного перерізу цього шару. Таким чином, $\sqrt{\lambda c \rho \tau} \cdot F(T_k - T_{ox})$ - додаток теплоємності прогрітого шару на різницю температур, тобто ΔQ , коефіцієнт $\frac{2}{\sqrt{\pi}}$ завищує це значення на 13 %.

Тоді

$$\Delta Q_1 = \sqrt{\lambda c \rho \tau} (T_k - T_{ox}) \quad (5)$$

а при охолодженні випромінюванням ΔQ_2 може бути визначена за формулою

$$\Delta Q_2 = \epsilon C_0 \left(\frac{T_{cp}}{100}\right)^4 \tau \quad (6)$$

Оскільки кількість тепла, що надходить до поверхні зсередини охолоджуємого шару, дорівнює кількості тепла, що минає з цієї поверхні, використовуючи рівність (5) і (6), отримаємо

$$\sqrt{\lambda c \rho \tau} (T_k - T_{ox}) = C_0 \left(\frac{T_{cp}}{100}\right)^4 \tau \quad (7)$$

де T_{cp} згідно окремого випадку теореми про повну загальну середню температуру дорівнює [9]

$$T_{cp}^4 = \frac{1}{T_k - T_{ox}} \int_{T_{nox}}^{T_n} T_{ox}^4 dT_{ox} = \frac{T_k^5 - T_{ox}^5}{5(T_k - T_{ox})} \quad (8)$$

так само, тоді

$$\frac{\sqrt{\lambda c \rho}}{\sqrt{\tau_{ox}}} (T_k - T_{ox}) = \epsilon C_0 \frac{T_k^5 - T_{ox}^5}{5(T_k - T_{ox})} \quad (9)$$

Для процесу охолодження порожнього чавуновозного ковша зроблені наступні припущення: втрати тепла випромінюванням з урахуванням конвективного теплообміну приймаємо як випромінювання абсолютно чорного тіла, а потік з охолоджувальної внутрішньої поверхні зменшуємо відповідним співвідношенням площ $F_{гор} / F_{вн}$, де $F_{гор}$ – площа горловини чавуновозного ковша, м²; $F_{вн}$ – площа внутрішньої поверхні ковша, яка знаходиться в контакті з чавуном, м².

$$\frac{\sqrt{\lambda c \rho}}{\sqrt{\tau_{ox}}} (T_k - T_{ox}) = C_0 \frac{T_k^5 - T_{ox}^5}{5(T_k - T_{ox})} \frac{F_{zop}}{F_{вн}} \quad (10)$$

або

$$\sqrt{\lambda c \rho} = A \frac{T_k^5 - T_{ox}^5}{(T_k - T_{ox})^2} \sqrt{\tau_{ox}} \quad (11)$$

де $A = \frac{1}{5} C_0 \frac{F_{zop}}{F_{вн}}$

$\sqrt{\lambda c \rho}$ - коефіцієнт акумулюючої здатності.

Співвідношення (1) справедливо для будь-якого моменту часу в процесі охолодження футеровки чавуновозного ковша і рівняння (11) може бути використано для визначення теплофізичних властивостей футеровки [10].

Для реалізації математичної моделі для розрахунку температури контакту футеровки і чавуну і зміни її в часі, була вибрана мова програмування C ++. Як середовище програмування була обрана RADStudio. На рис. 1 представлена робота системи для довідкових даних (табл. 1), експериментальних та лабораторних даних.

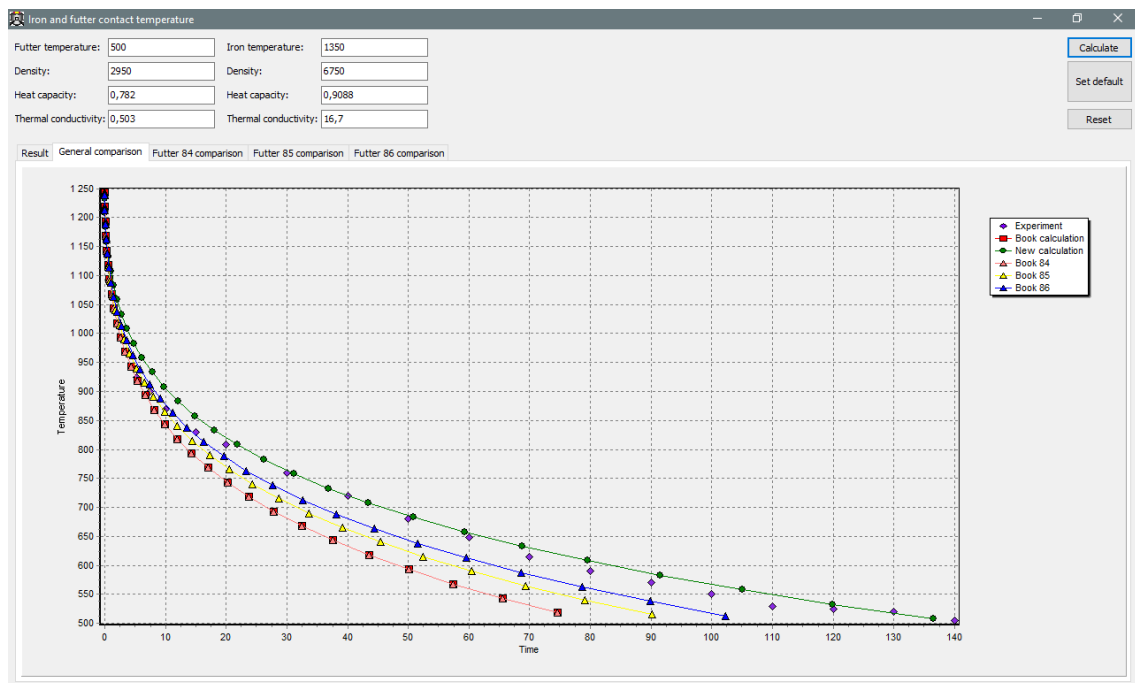


Рисунок 1 – Порівняння з лабораторними та літературними даними

В результаті експериментальних досліджень доведено, що математична модель цілком адекватна, а також уточнена фізична сутність коефіцієнта акумулюючої здатності матеріалу і визначено його фактичне значення, величина якого перевищує довідкове майже в два рази. Встановлено, що в процесі взаємодії футеровки з залізвуглецевим розплавом майже на 20 %

збільшується щільність і коефіцієнт теплопровідності вогнетрива. З цим пов'язані втрати тепла на акумуляцію, які зростають в процесі експлуатації ковша. Використання більш щільного вогнетрива для робочого шару дозволить знизити ці втрати. З метою зниження втрат тепла, при зносі футеровки чавуновозного ковша, пропонується між кожухом і кладкою використовувати теплоізоляційний шар товщиною 0,02 м з волокнистого вогнетрива МКРПГ - 400.

ВИСНОВКИ

Розроблена система моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів, що протікає в міру просування рідкого чавуну від моменту випуску з ДП до заливання його в сталеплавильний агрегат. Розроблена математична модель методу визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою чавуновозного ковша, в якому враховані температура поверхні (контакту) футеровки - чавун, що залежить від теплофізичних властивостей вогнетрива і розплаву. В роботі встановлено зміну цих властивостей в результаті проникнення чавуну в шви і пори вогнетривкої кладки. Визначено фактичне значення коефіцієнта акумулюючої здатності футеровки чавуновозних ковшів, що дозволило встановити причину підвищених втрат на акумуляцію і намітити заходи щодо їх зниження.

Список використаних джерел:

1. Коновалов, Ю. В. Пути стабилизации и дальнейшего развития чёрной металлургии Украины / Ю. В. Коновалов, А. А. Минаев // Металл и литьё Украины. – 2008. – № 10. – С. 16–17.
2. Бахчеев, Н. Ф. О прогнозировании основных направлений развития сталеплавильного производства / Н. Ф. Бахчеев, В. Ф. Сарычев, А. А. Кривошейко // Сталь. – 2004. – № 2. – С. 15.
3. Сталь на рубеже столетий / под науч. ред. Ю. С. Карабасова. – М.: МИСИС, 2012. – 664 с.
4. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / С. В. Колтаков [и др.]; под общ. ред. С. В. Колтакова. – М.: Машиностроение, 2011. – 464 с.
5. Теплофизические свойства материалов металлургического производства : справочник / К. Д. Ильченко [и др.]. – Харьков : Основа, 2004. – 196 с.
6. Литовский, Е. Я. Теплофизические свойства огнеупоров : справочник / Е. Я. Литовский, Н. А. Пучкевич. – М.: Металлургия, 1992. – 152 с.
7. Казанцев, Е. И. Промышленные печи / Е. И. Казанцев. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.
8. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высш. школа, 1977. – 600 с.
9. Капустин, Е. А. К теории микро и макро переноса / Е. А. Капустин // Металлургическая теплотехника: сб. науч. тр. / НметАУ. – Днепропетровск, 2002. – Т. 5. – С. 150–161.
10. Капустин, Е. А. Аккумуляция теплоты футеровкой чугуновозного ковша / Е. А. Капустин, М. Ю. Дубовкина // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 4. – С. 89–91.

Абдулалимов В. Е., Дубовкина М. Ю., Левицкая Т. А., Хохлова К. Ю.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ФУТЕРОВКИ ЧУГУНОВОЗНЫХ КОВШЕЙ

В работе рассматривается разработка системы моделирования тепловой работы футеровки чугуновозных ковшей, протекающей по мере продвижения жидкого чугуна с момента выпуска с ДП к заливке его в сталеплавильный агрегат. Научная необходимость заключается в визуализации этого процесса, в расчете его характеристик и оптимизации технологических и конструктивных параметров с целью улучшения качества продукции. В основе модели лежит метод определения потерь тепла на аккумуляцию кладкой чугуновозного ковша, в котором учтены температура поверхности (контакта) футеровка - чугун, которая зависит от теплофизических свойств огнеупора и расплава. В работе установлено изменение этих свойств в результате проникновения чугуна в швы и времени огнеупорной кладки. Определено фактическое значение коэффициента аккумулирующей способности футеровки чугуновозных ковшей, что позволило установить причину повышенных потерь на аккумуляцию и наметить меры по их снижению.

Ключевые слова: модель, аккумулирующая способность, тепловая работа, футеровка, чугуновозный ковш, расплав.

Abdulalimov V. E., Dubovkina M. Yu., Levytska T. O., Khokhlova K. Yu.

SIMULATION OF PROCESSES OF THERMAL WORK OF LINING OF CAST IRON BUCKETS

The paper considers the development of a system for modeling the thermal work of the lining of cast iron ladles, which proceeds as the liquid cast iron moves from the moment of release from the blast furnace to its filling into the steelmaking unit. For oxygen - converter production of great importance is a stable chemical composition and temperature of cast iron. This allows you to significantly increase the productivity of steelmaking units as a result of standardization of processes and the elimination of melting with additives, as well as reduce metal losses.

The scientific need is to visualize this process, to calculate its characteristics and optimize technological and design parameters in order to improve product quality. The purpose of this work is to study and develop a system for modeling the thermal work of the lining of cast iron buckets, which consists of determining the contact temperature of the lining with molten cast iron and determining heat loss to the accumulation of masonry. To achieve this goal, the following tasks were solved: analysis of known approaches to determining heat loss for masonry, selected methods and means of solving a scientific problem, obtained dependences for determining the contact temperature of the lining with the melt and the thickness of the active lining layer, improved method for determining heat loss masonry, determined the accumulative capacity of the active layer of the lining during operation, developed a system for modeling the thermal operation of the lining of cast iron buckets. The mathematical model is based on the method of determining heat loss for accumulation by laying masonry ladle, which takes into account the surface temperature (contact) lining - cast iron, which depends on the thermophysical properties of refractories and melt. The change of these properties as a result of penetration of cast iron into seams and pores of refractory

laying is established in work. The actual value of the coefficient of accumulating capacity of the lining of cast-iron buckets was determined, which allowed to establish the cause of the increased losses on accumulation and to outline measures to reduce them.

Keywords: *model: storage capacity, thermal work, linings, cast iron bucket, melt*

Рецензент: доцент, канд. техн. наук Кривенко О. В.

Стаття надійшла

УДК 004.651.4

Федосова І. В., Жуков Д. С.

ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОСУВАННЯ БАСКЕТБОЛЬНОЇ КОМАНДИ В ТУРНІРІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕРЕВА РІШЕНЬ

Прогнозування просування баскетбольної команди в турнірі з використанням дерева рішень. У роботі розглядається побудова дерева рішень для прогнозування просування баскетбольної команди в турнірній таблиці. У дослідженні розглядаються переваги і недоліки дерева рішень, а також проблеми навчання і тестування дерев рішень. У статті описується абсолютно новий підхід для вирішення задачі класифікації даних на основі дерев рішень. Використання нових методів дозволить позбутися від нестачі евристичних алгоритмів, які мають пряме відношення до неправильного вибору критерію поділу класифікації при створенні дерева рішень. Такий новий підхід алгоритму побудови дерева рішень продемонстрував в процесі дослідження більш точну класифікацію даних, а також якість прогнозування результатів. У статті був здійснений прогноз можливостей використання в прикладних цілях дерев рішень для прогнозування економічних і фінансових кризових ситуацій. Для запобігання спаду економіки держави або ж відокремленої компанії або підприємства. Однак перед використанням даних необхідно дотримуватися вимог до форми наданих даних. Також важливо зберегти дані в ієрархічності вигляді. У процесі дослідження автори використовують багатовимірні методи, які є корисними для опису нормативних профілів статистики та їх зв'язку з ситуативними змінами. Статистичний підхід багатовимірних методів з непарними даними є найкращим для визначення статистики, пов'язаної з баскетбольними турнірами. Наведено алгоритм CART класифікації за допомогою дерев рішень, математична модель розрахунку основних вузлів дерева рішень. За допомогою мови програмування Python створений і наведено приклад дерева рішень для поставленого завдання.

Ключові слова: *дерева рішень, класифікація, прогнозування, ентропія, баскетбольна команда, CART.*

Вступ.

До появи інтелектуального аналізу даних спортивні організації в основному покладалися на людський досвід, що виходить від тренерів, скаутів, менеджерів, гравців. Вважалося, що ці фахівці перетворюють історичні записи в корисні знання. Але коли обсяг даних, які вони збирали, ставав все більш і більш величезним, спортивні організації шукали