

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ НАГРІВАЛЬНОЇ ПЕЧІ
Й ПРОКАТНОГО СТАНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЕКРАНІВ**

Сучасний підхід до енерго- і ресурсозбереження передбачає системний, комплексний аналіз споживання, як матеріальних, так і енергетичних ресурсів. Такий аналіз повинен враховувати взаємний вплив основних режимних і технологічних параметрів роботи різних агрегатів на вартість одержання готового продукту. У цьому сенсі, для прокатного переділу, актуальною є задача розгляду режимів спільної роботи нагрівальної печі та прокатного стану. Вибір раціональних режимів спільної роботи дозволяє знизити собівартість готового прокату.

Практичний інтерес представляє дослідження ефективності установки енергозберігаючих екранів над рольгангом. Установка екранів забезпечує зниження втрат теплоти розкатом при прокатці, що дозволяє знизити кінцеву температуру нагрівання заготовок у печі, величину вигорання металу у окалину. При цьому підвищується витрата електроенергії при прокатці. Наявність цих факторів дозволяє сформулювати задачу оптимізації, у якій критерієм оптимальності виступає мінімум сумарних витрат на виробництво готового прокату на ділянці "нагрівальна піч-прокатний стан" ("піч-стан").

Постановка задачі. У якості цільової функції доцільно розглядати сумарну собівартість продукції при виробництві готового прокату на ділянці "піч - стан", яка може бути визначена як:

$$C_{\text{ГОТ}} = C_M + C_M \cdot m_{\text{ВИГ}} + C_{\text{П}} \cdot b_{\text{П}} + C_{\text{ЕЕ}} \cdot b_{\text{ЕЕ}} + C_{\text{ІНШ.}} \quad (1)$$

де C_M – вартість заготовки перед посадом у нагрівальну піч, грн./т; $C_{\text{П}}$, $C_{\text{ЕЕ}}$ – відповідно, вартість палива, використаного в нагрівальних печах і вартість електроенергії витраченої на прокатному стані, грн./кг у.п.; $m_{\text{ВИГ}}$ – питома кількість металу, що вигорів у окалину, т/т; $b_{\text{П}}$, $b_{\text{ЕЕ}}$ – відповідно, питома витрата палива й електроенергії, кг у.п./т.; $C_{\text{ІНШ.}}$ – питома вартість інших (умовно-постійних) витрат, грн/т.

У рівнянні (1) можна виділити дві складові – постійну, що не залежить від роботи системи "піч-стан", – це складові C_M , $C_{\text{ІНШ.}}$ і перемінну, котра змінюється залежно від зміни режиму роботи системи "піч-стан" – це складові $C_M \cdot m_{\text{ВИГ}}$; $C_{\text{П}} \cdot b_{\text{П}}$; $C_{\text{ЕЕ}} \cdot b_{\text{ЕЕ}}$. Таким чином, мінімум цільової функції досягається при мінімізації величини перемінної частини витрат на виробництво прокату.

При спільному розгляданні режимів роботи нагрівальної печі та прокатного стану можна виділити наступні технологічні фактори, що виступають у реальних умовах, як обмеження, при формулюванні задачі оптимізації [1].

1. Температура нагріву металу в печі або температура початку прокатки повинна знаходитися у діапазоні, що обумовлений технологічними вимогами для різних марок сталі. Для вуглецевих марок вона складає 1200–1060 °С.

2. Кінцева температура прокатки регламентується вимогами до структури й властивостей готової продукції і для вуглецевих і конструкційних сталей складає 800–900 °С, для інструментальних сталей складає 700–900 °С.

3. Припустимі зусилля прокатки, які забезпечують надійну й стабільну роботу устаткування без зниження міжремонтного періоду, встановлюються для кожного стану окремо.

При роботі стану з енергозберігаючими екранами додаються обмеження на роботу екранів.

4. Температура поверхні екрана $t_{\text{ПЕ}}$ визначається товщиною ізоляції, виходячи з вимог техніки безпеки, не повинна перевищувати 70 °С.

5. Термін служби екранів, $\tau_{\text{Е}}$, повинен перевершувати строк окупності установки екранів на рольгангу. Для реальних умов роботи, мінімальний термін служби екранів визначається гарантійним строком експлуатації волокнистої ізоляції, при максимальних температурах застосування, що становить 3–5 років.

Рішення задачі оптимізації виконано для умов роботи середньосортного стану 550-2 ВАТ "Дніпропетровський металургійний завод ім. Петровського".

Таким чином, постановка задачі оптимізації, в остаточному виді, формулюється в такий спосіб: забезпечити мінімум змінної частини собівартості готового прокату

$$C_{\text{П}} = C_M \cdot m_{\text{ВИГ}} + C_{\text{П}} \cdot b_{\text{П}} + C_{\text{ЕЕ}} \cdot b_{\text{ЕЕ}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

при наступних обмеженнях:

– температура нагріву металу перед прокаткою, °С

$$1060 \leq t_H \leq 1200, \quad (3)$$

– температура кінця прокатки, °С

$$800 \leq t_K \leq 900, \quad (4)$$

– допустимі зусилля прокатки, МН

$$\sigma \leq 3,0 - 3,6, \quad (5)$$

– температура поверхні екрана, °С

$$t_{ПЕ} \leq 70, \quad (6)$$

– термін служби екранів, рік

$$\tau_E \geq 3. \quad (7)$$

Рішення задачі оптимізації передбачає створення комплексного математичного опису роботи системи "піч–стан", що включає:

1) Модель роботи методичної печі, з визначенням температури кінця нагрівання металу у печі й величини окалини, що утворюється при нагріванні в печі, при заданій продуктивності печі й заданому перепаді температури по товщині заготовки на видачі [2]. Модель заснована на відомій інженерній методиці розрахунку теплообміну в системі "газ–кладка–метал" та методі теплової діаграми.

2) Модель зміни температурного поля розкату і екрану, при заданому темпі прокатки [3], що дозволяє визначати розподіл температури по перетину розкату й екрану під час прокатки, у досліджуваному діапазоні параметрів. Модель заснована на використанні чисельного вирішення сумісної задачі теплообміну раскату – екран рольганг з використанням методу кінцевих різниць.

3) Модель процесу деформації заготовки з визначенням зусиль прокатки й витрат електроенергії на стані, при заданих температурних умовах і калібруванні стану. Визначення витрати електроенергії при прокатці виконано шляхом розрахунку потужності, що споживана електродвигунами стану, на основі енергосилових параметрів прокатки [4, 5].

Результати досліджень. В результаті рішення задачі оптимізації, отримана область температури нагріву заготовок у печі: 1060–1100 °С, що відповідає мінімальному значенню змінної частини собівартості готового прокату $C_{П}$, у всьому дослідженому діапазоні продуктивності системи "піч–стан". Зміна величини $C_{П}$ у цьому діапазоні температур не перевищує 1,4 %. При збільшенні температури нагріву вище 1100 °С, $C_{П}$ нелінійно зростає й збільшується на 4,6–4,9 % при температурі 1150 °С і на 9–12 % при температурі 1200 °С. Таким чином, зниження температури нагріву з 1200 °С до оптимального значення з діапазону 1060–1100 °С дозволяє знизити змінну частину собівартості готового прокату на 9–12 %. З урахуванням початкової вартості металу, оптимальний діапазон температури нагріву металу дозволяє знизити собівартість прокату на 0,3–0,7 %.

Наведені результати проілюстровані на рисунках 1 і 2. На рисунку 1 наведено зміна перемінної частини собівартості прокату від температури нагріву для продуктивності 80 т/год. На рисунку 2 наведено зміна складових перемінної частини собівартості прокату від температури нагріву на екранованому рольгангу з товщиною екрана 0,3 м.

Розрахунки показали, що зміна перемінної частини вартості прокату, при зниженні температури нагріву в печі, в основному визначається зниженням вартості вигорання металу в окалину, а не зміною співвідношення вартості природного газу $C_{ПГ}$ й електроенергії $C_{ЕЕ}$. Це підтверджується даними, що наведено на рисунках 3 і 4.

В результаті аналізу розрахункових даних отримано, що для реальних умов роботи прокатного стану 550-2 необхідно забезпечити температуру початку прокатки 1150 °С, що, з одного боку, знизить перемінну частину собівартості прокату на 5–8 %, а з іншого боку, забезпечить якість прокату й роботу стану в припустимому діапазоні навантажень, виключить охолодження розкату нижче припустимих значень температури, при короткочасних зупинках і затримках на стані. При цьому температура кінця прокатки практично не зміниться й складе 840–850 °С.

Для оцінки економічної ефективності екранування рольгангу виконано розрахунок економічної ефективності установки екранів для умов стану 550-2 ВАТ "Дніпропетровський металургійний завод ім.

Петровського". У результаті розрахунків отримано, що при зниженні температури нагріву металу в печі на 50 °С з 1200 до 1150 °С, строк окупності установки екранів складає близько 0,5 року.

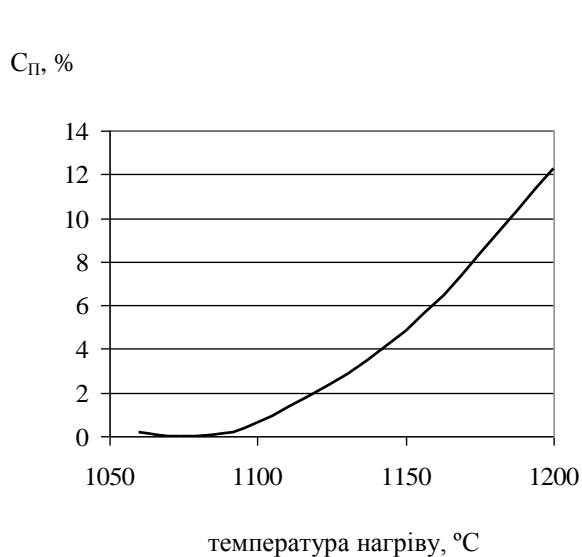


Рисунок 1 – Відносна зміна перемінної частини собівартості прокату, при продуктивності 80 т/год

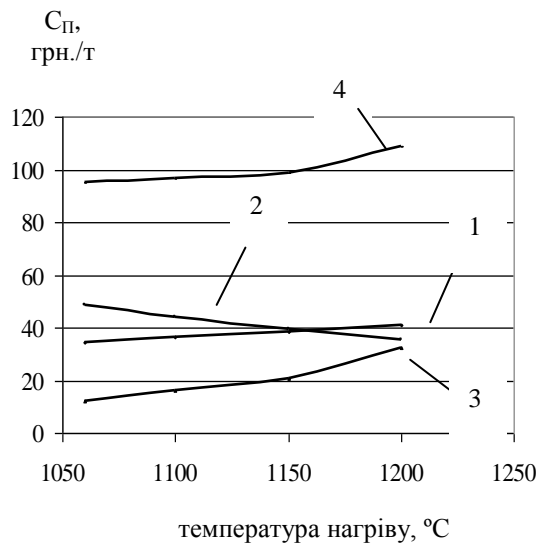


Рисунок 2 – Перемінна частина собівартості прокату:
 1 – вартість природного газу;
 2 – вартість електроенергії;
 3 – вартість металу, що вигорів;
 4 – змінна частина собівартості прокату

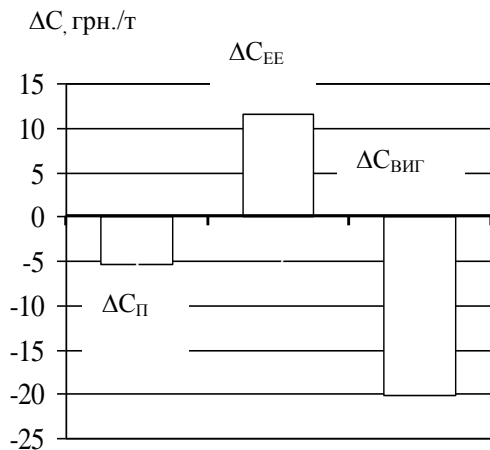


Рисунок 3 – Зміна питомої вартості палива $\Delta C_{\text{п}}$, електроенергії $\Delta C_{\text{ЕЕ}}$, вигорання металу $\Delta C_{\text{ВІГ}}$ при зниженні температури початку прокату з 1200 до 1100 °С

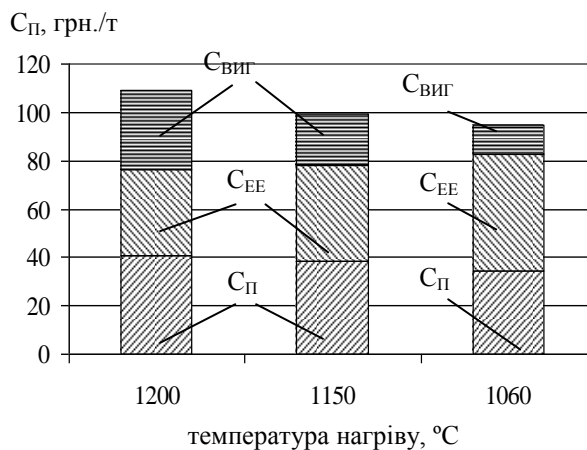


Рисунок 4 – Зміна структури перемінної частини собівартості прокату для продуктивності 80 т/год.:
 $C_{\text{п}}$ – вартість палива, грн./т;
 $C_{\text{ЕЕ}}$ – вартість електроенергії, грн./т;
 $C_{\text{ВІГ}}$ – вартість металу, що вигорів, грн./т

Висновки. У результаті рішення задачі оптимізації спільної роботи нагрівальної печі та прокатного стану, з установкою енергозберігаючих екранів, для умов сортопрокатного стану 550-2 ВАТ "Дніпропетровський металургійний завод ім. Петровського", отримано, що оптимальна температура нагріву

заготівок у печі складає діапазон 1060–1100 °С. З урахуванням реальних умов роботи сортопрокатного стану, рекомендується забезпечити температуру нагріву заготівок – 1150 °С, що знизить собівартість готового прокату на 0,2–0,5 % і забезпечить дотримання всіх технологічних і технічних вимог при роботі системи "піч–стан". Строк окупності установки екранів, при цьому, складає близько 0,5 року.

Література

1. Технологическая инструкция по производству сортового проката на стане 550-2 прокатного цеха №2. ТИ-233-ПС-02-96.
2. Пульпинский Б.Б. Разработка и внедрение энергосберегающего режима нагрева металла в проходных печах методического типа. // Сб. научн. тр. НМетАУ. – Днепропетровск: НМетАУ. – 2000. – С. 113–118.
3. Перерва В.Я., Решетняк С.И. Моделирование охлаждения заготовок на сортовом стане при установке теплоизолирующих экранов // Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов Национальной Metallургической академии Украины. – Днепропетровск: Пороги, 2004. – С. 67–75.
4. Перерва В.Я., Огинский И.К., Самсоненко А.А., Пульпинский В.Б. Исследование энергопотребления в сортопрокатном производстве при использовании теплоизолирующих экранов // Metallургійна теплотехніка. Збірник наукових праць Національної metallургійної академії України. У двох книгах. Книга друга. – Дніпропетровськ: Пороги, 2005. – С. 190–197
5. Груднев А.П. Технология прокатного производства / А.П. Груднев, Л.Ф. Машкин, М.И. Ханин. – М.: Арт-Бизнес-Центр, Metallургия, 1994. – 520с.

УДК 621.771.25.04.001.5

Перерва В.Я., Шевченко Г.Л., Губинский М.В.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ И ПРОКАТНОГО СТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЭКРАНОВ

Сформулирована и решена задача оптимизации совместной работы нагревательной печи и сортопрокатного стана при установке энергосберегающих экранов над рольгангом.

Получен оптимальный диапазон температуры нагрева металла в печи, при котором стоимость готового проката в исследованном диапазоне параметров, снижается на 0,2–0,5 %.

Pererva V., Shevchenko G., Gubinskiy M.

THE OPTIMIZATION OF THE JOINT WORK OF THE HEATING FURNACE AND TABLE ROLLING WITH THE ENERGY-SAVING SCREENS INSTALLATION WAS SOLVED

The optimization task of the joint work of the heating furnace and table rolling with the energy-saving screens installation was solved.

An optimal temperature range of the metal heat in the furnace ensuring reduction in the finished steel value at 0,2–0,5 %, was received.