

УДК 621.313.6

Олійник Є.С.¹, Яримбаш Д.С.²

¹ студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

² д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БІЧНОГО ШИНОПАКЕТУ ПЕЧІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КАРБІДУ КРЕМНІЮ

Технологічний процес виробництва карбіду кремнію є тривалим та енергоємним. Якість продукції суттєвим чином залежить від дотримання технологічних режимів. З урахуванням тенденції зростання цін на енергоносії

і значної частки цих витрат в собівартості продукції, проблема підвищення енергоефективності електротехнічних комплексів виробництва карбіду кремнію є доволі актуальною.

Втрати в коротких мережах досягають 12% електричних втрат комплексу, що визначається особливостями конструкції шинних пакетів пічної петлі і взаємним розташуванням керна, струмовідводів і бічних шинних пакетів. При оптимізації взаємного розташування керна і бічних шинних пакетів потрібно досліджувати електромагнітні процеси в пічній петлі. З урахуванням виробничих умов і технологічних особливостей виробництва карбіду кремнію доцільно проводити такі дослідження на математичних моделях, апробованих раніше для подібних класів задач.

Метою дослідження була оптимізація розташування бічного шинного пакету короткої мережі відносно печі опору для виробництва карбіду кремнію для підвищення енергетичної ефективності.

Енергетичну ефективність технологічного процесу виробництва карбіду кремнію можна оцінювати як співвідношення активної потужності керна при температурі карбідизації кремнію до потужності трансформатору живлення. Фіксуючи параметри трансформатору живлення, пристрою компенсації реактивної потужності та шинного пакету у трансформаторній камері можна сформулювати локальний критерій енергоефективності для пічної петлі у вигляді відношення активної потужності керна при температурі карбідизації кремнію до повної потужності на відводах шинного пакету трансформаторної камери (ШПТК):

$$\max \frac{P_{\text{кern}}}{S_{\text{ШПТК}}} = \max \left(\operatorname{Re} \left[\left(\dot{U}_{\text{ШПТК}} - \sum_i \dot{U}_i \right) \cdot I \right] / \left| \dot{U}_{\text{ШПТК}} \cdot I \right| \right), \quad (1)$$

Так як напруга на керна печі для виготовлення карбіду кремнію визначається напругою на відводах ШПТК – $U_{\text{ШПТК}}$ і падіннями напруги на елементах пічної петлі і струмопідводах печі – U_i .

Ці падіння напруги обумовлюються електромагнітними процесами в елементах короткої мережі, які описуються системою диференціальних рівнянь для амплітуд векторного магнітного потенціалу в комплексній формі, наведених в [1] з відповідними граничними умовами.

Математична реалізація електромагнітної моделі [1] може бути істотно спрощена, якщо, з урахуванням співвідношення геометричних розмірів керну, струмопідводів печі для виготовлення карбіду кремнію і бічних шинних пакетів (БШП), перейти від просторової формулювання до плоскопаралельної постановки виду [1]:

$$\mathbf{A} = \bar{\mathbf{k}} \cdot A_z, \mathbf{B} = \mathbf{i} \cdot B_x + \mathbf{j} \cdot B_y, \mathbf{H} = \mathbf{i} \cdot H_x + \mathbf{j} \cdot H_y \quad (2)$$

Розв'язок математичної моделі виконувався за допомогою методу скінченних елементів у середовищі ПЗ COMSOL Multiphysics [1]. Розрахунки проводилися для існуючого дворядного виконання бічного шинного пакету з дванадцяти алюмінієвих шин з одного боку печі.

За результатами моделювання визначались комплексні значення амплітуд струмів в керні та шинах бічного шинного пакету.

Достовірність і точність результатів моделювання підтверджувалася порівнянням розрахункових даних з даними вимірювання у виробничих умовах при технологічному процесі виготовлення карбіду кремнію. Відносна похибка розрахунку діючих значень падінь напруги склала 4,5...7%.

Розподіл струмів обумовлено впливом зовнішнього поверхневого ефекту для шин бічного пакету та впливом ефекту близькості для керна і шин і залежить від їх взаємного розташування. Тому найбільше струмове навантаження несуть крайні шини пакету, розташовані ближче до керну печі. Кратність струмового навантаження між шинами бічного пакету досягає 6,5, а додаткові втрати в БШП становлять 28%.

За даними моделювання визначено оптимальне розташування керна і бічних пакетів шин при якому електромагнітне поле практично симетрично до поздовжньої осі печі в поперечному перерізі пічної петлі. Розподіл струмів в рядах шин бічних пакетів шин також наближається до симетричного, а нерівномірність їх навантаження знижується. Втрати у шинах бічного пакету зменшуються на 18%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ярымбаш Д. С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник // Электротехника и электроэнергетика. – 2011. – №1. – С. 64–69.