

**І.Л. Шилович, к.т.н., доц.
К.О. Шумивода, аспірант***Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»*

Визначення ефективного коефіцієнта температуропровідності шихти в промислових печах Ачесона під час виробництва карбіду кремнію

Дослідження стосується високотемпературного процесу виробництва карбіду кремнію методом Ачесона в електричних печах. Однією з головних проблем виробництва є відносно обмежена зона температур утворення карбіду кремнію з властивостями, що відповідають технологічним вимогам. З іншого боку, існуючі конструкції печей мають теплові характеристики, що обмежують можливості збільшувати зону високих температур. Підвищення обсягу виробництва карбіду кремнію базується на вдосконаленні теплових режимів роботи печі в частині розподілу і рівні температур, і покращенні теплофізичних характеристик робочої зони.

Об'єктом дослідження визначено робочу високотемпературну зону печі Ачесона, що складається з шихти і теплогенеруючого ядра. Метою роботи є визначення теплопередавальних характеристик робочої зони печі як умов однозначності при математичному моделюванні високотемпературних процесів.

Для досягнення вказаної мети виконано експериментальні виміри температур у робочій зоні печі та на підставі отриманих даних і аналізу літературних джерел узагальнено температурні залежності в перетині печі залежно від часу і лінійних координат.

Визначено значення ефективного коефіцієнта температуропровідності шихти, що складається з суміші піску (SiO₂) і нафтового коксу (C) для окремого діапазону робочих температур. Отримані розрахункові результати базуються на аналізі числових залежностей похідних температури у часі і в координатній площині робочої області печі. На підставі відомих математичних формул для кінцевих різниць розраховано значення коефіцієнтів температуропровідності для діапазону робочих температур печі Ачесона.

Ключові слова: карбід кремнію; піч Ачесона, коефіцієнт температуропровідності; температурні залежності.

Вступ. Враховуючи постійний зріст попиту на металеві вироби різних сфер застосування, підвищується необхідність у забезпеченні виробництв інструментами для виконання усіх необхідних технічних завдань, пов'язаних з обробкою металів у належній кількості і високій якості. Необхідною складовою абразивних кругів, шліфувальних дисків, різців, абразивних паст та подібних інструментів є абразивні матеріали і засоби, які створюються із застосуванням карбіду кремнію (SiC). Збільшення кількості і якості SiC є актуальним завданням сучасного виробництва. Карбід кремнію (SiC), або карборунд, має широке застосування, зокрема як абразивний матеріал. Інші галузі застосування враховують виготовлення високотемпературних нагрівальних елементів, LED-елементів у ультрафіолетовому спектрі. Модифікації карбіду кремнію застосовуються для виготовлення куленепробивних пластин й іншої корисної продукції. Карбід кремнію отримують у печах Ачесона шляхом пропускання електричного струму через ядро з насипного нафтового коксу, що отримується під час розділення нафтопродукту на кілька фракцій за допомогою процесів дистиляції і подальшої процедури термічного коксування твердої фракції. Ядро зазвичай має форму паралелепіпеда, що розташовується вздовж центральної осі печі. З торців печі до ядра подається електрична напруга через конструкцію, складену із графітових блоків. Технологічний процес отримання карбіду кремнію відбувається у пересипці, що оточує ядро. Пересипка складається з суміші піску (SiO₂) і нафтового коксу (C). Хімічний процес утворення карбіду кремнію іде за реакцією, викладеною авторами «Silicon Carbide» [1], P.Raj, G.S. Gupta, V.Rudolph [2]:



Хімічна реакція утворення карбіду кремнію відбувається в температурному діапазоні 1700...2500 °C [3]. Загальний вигляд печі Ачесона, що використовується для промислового отримання SiC, показано на рисунку 1 [4].

Схематично поперечний перетин робочої зони печі по завершенню процесу показано на рисунку 1 згідно з даними авторів G.S. Gupta, P.Raja, K.Tiwaria [5].

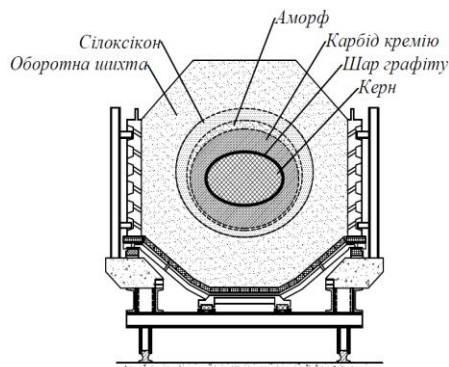


Рис. 1. Поперечний перетин пересувної печі Ачесона після завершення процесу

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. Процес виробництва карбіду кремнію супроводжується складними фізико-хімічними перетвореннями, що протікають за високих температур. Цей процес вивчався певними дослідниками, але з огляду на складний характер власне самого фізико-хімічного процесу, а також екстремальні умови, що супроводжують перетворення вихідних продуктів (високі температури, викиди монооксиду вуглецю, високі електричні струми і електромагнітні поля) суттєво звужують можливості вивчення і кількість досліджень, зважаючи на моделювання температурного поля робочої зони печі.

Згаданій проблемі присвячено роботи авторів P.Raj, G.S. Gupta, V.Rudolph [2], I.V. Derevyanko, A.V. Zhadanos [3], O.Zhadanos, I.Derevyanko [4], G.S. Gupta, P.Raja, K.Tiwaria [5], P.V. Kumar, G.S. Gupta [6], А.Я. Карвацький, І.В. Пулінець, І.Л. Шилович [7]. З аналізу згаданих вище робіт витікає, що ефективність процесу (як в енергетичному, так і в виробничому розумінні) напряму залежить від розподілу температур у робочій зоні печі. Безпосереднє експериментальне визначення температур у зонах утворення карбіду кремнію є досить складним завданням, обмеженим можливостями вимірювальних засобів, оскільки охоплює діапазон від 1700 до 2500 °C і, можливо, вище. Одним із засобів оцінки температурних полів процесу в печі Ачесона є моделювання фізичного поля за допомогою відомих математичних моделей і пакетів прикладних програм чисельного моделювання, як це представлено авторами робіт [4]. Проте автори згаданих робіт не наводять числових характеристик умов однозначності, зокрема, таких важливих теплофізичних параметрів, як коефіцієнти теплопровідності. До того ж ці коефіцієнти не представлені у вигляді конкретних математичних виразів, як функції температури. Автори робіт G.S. Gupta, P.Raja, K.Tiwaria [5], P.V. Kumar, G.S. Gupta [6] досліджували лабораторну піч виробництва кремнію і отримали низку безрозмірних критеріїв для масштабування лабораторних вимірювань на промислову піч. Головним результатом досліджень авторів роботи [5] є складання енергетичного балансу на базі доступних для безпосереднього вимірювання температур (зовнішніх огорожень печі, поверхонь контакту з навколишнім середовищем).

Авторами роботи [6] на базі експериментальних вимірів також лабораторної моделі отримано дані щодо продуктивності печі для ряду експериментальних режимів. На підставі отриманих даних з виходу продукції розроблено прості математичні залежності, які узагальнюють експериментальні дані для досліджених режимів. Головним результатом досліджень є отримання залежності кількості одержаного в печі карбіду кремнію від кількості утвореного монооксиду кремнію. Застосування результатів дослідження для практики промислового виробництва не описано.

Розгляд робіт [3–6] показує, що існує певний дефіцит даних щодо теплового стану печей виробництва карбіду кремнію. Це стосується насамперед високотемпературної зони утворення карбіду кремнію та реального вигляду температурного поля цієї області. Експериментально-розрахункові дослідження в цьому напрямі є актуальними і спрямовані на доповнення та уточнення існуючих уявлень про процес утворення карбіду кремнію.

Експериментальні дослідження. Експериментальні дослідження враховують виміри температур в центральному, по поздовжній осі, поперечному перерізі печі, температур зовнішніх поверхонь огорожень печі (стінок). Вибір перетину печі здійснено на підставі попередніх оцінок температурних рівнів промислових печей з огляду на визначальний вплив центральної зони печі на технологічний процес. Температури в середині печі вимірювалися за допомогою термопар ХА стандартного градування. Термопари поміщалися в трубчасті циліндричні чохла з жаростійкої сталі. Термопари в чохлах засипалися периклазом (MgO) з метою запобігти можливому електричному контакту з електропровідним середовищем всередині печі. Розташування термопар у печі показано на рисунку 2.

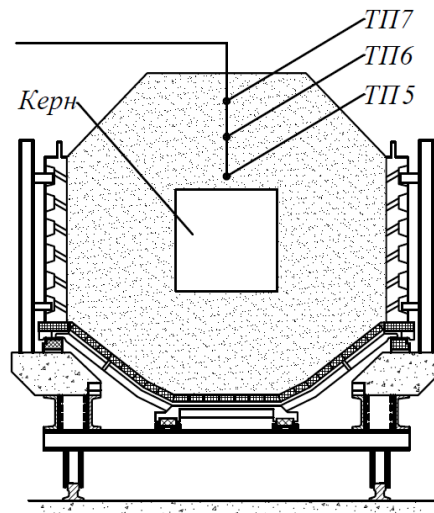


Рис. 2. Розташування термопар у центральному по повздовжній осі поперечному перетині печі

Експериментальні температури в поперечному перетині печі показано на рисунку 2. З досліджень подібних теплових агрегатів з сипучими наповнювачами робочої зони А.Я. Карвацький, І.В. Пулінець, І.Л. Шилевич [7] відомо, що певний час температури в визначених точках не зростали і трималися на рівні 100 °С, що свідчить про наявність суттєвої кількості вологи в пересипці. Це явище викликає необхідність оцінки реальних теплофізичних властивостей пересипки, оскільки подальше створення розрахункової моделі процесу в печі має враховувати умови однозначності під час розв'язання диференціальних рівнянь нестационарної теплопровідності.

Аналіз експериментальних даних на етапі зростання температур з порівнянням даних досліджень авторів робіт І.В. Derevyanko, А.В. Zhadanos [3], О. Zhadanos, І. Derevyanko [4] показав, що зростання температур через певний проміжок часу виходить за межі технічних можливостей хромель-алюмелевих термопар.

Спираючись на фундаментальні засади теплообміну, викладені, наприклад у роботі G. Carta [8], а також на дослідження нестационарного теплообміну, автори робіт W. Derrick [9], O. Bautista [10], Y. Shadiiriati [11] пропонують узагальнену залежність приросту температури від часу у вигляді: $T(\tau) \sim \exp(-b\tau)$, де b , [K/c] – деякий комплекс, що складається з геометричної характеристики та фізичних властивостей тіла; τ – поточний час, с; $b = f\left(\frac{hF}{mc_p}\right)$, h – коефіцієнт інтенсивності підведення теплоти до границі об'єму, що нагрівається, Вт/(м²К); F – поверхня, через яку підводиться теплота, м²; m – маса, що нагрівається, кг; c_p – теплоємність речовини, що нагрівається, Дж/(кг·К). Комплекс b може бути обчислений на підставі експериментальних досліджень поля температур у фізичному тілі, що нагрівається. Для кожного конкретного випадку нестационарного теплообміну b має свій числовий вираз, який визначається обробкою розподілу температури в координатній площині і залежно від часу.

Екстраполяція експериментальних температур для діапазону $T > 1200$ °С виконана у вигляді залежності $T(\tau) = A \exp(-n\tau)$. Коефіцієнти A і n визначалися для трьох обраних температур. Дві з цих температур дорівнювали температурам з графіків ТП5 і ТП6 за 1 годину до досягнення граничних значень. Третя точка була визначена як 2500 °С, тобто технологічна температура протікання реакції утворення карбиду кремнію, і яка згадується рядом дослідників у роботах [2–6].

У підсумку коефіцієнти A і n для екстраполяції графіків ТП5 і ТП6 визначені як $A \approx (11000 \dots 13100)$, $n \approx (-0,12 \dots -0,14)$. Отримані розрахункові точки для діапазону часу 9...16 годин послідовно були узагальнені поліномами 2-го ступеня для зручності користування під час обчислень. Екстраполяція температурних залежностей ТП5 і ТП6 для діапазону часу до 16 години представлено на рисунку 3. На графіку також представлені дані дослідників V. Derevyanko, А.В. Zhadanos [3], О. Zhadanos, І. Derevyanko [4] для порівняння. Порівняння виконано для точок виміру, координати яких збігаються. Як видно з рисунка 3, літературні дані якісно і до певної міри кількісно узгоджуються з розрахунковими температурами екстраполяції.

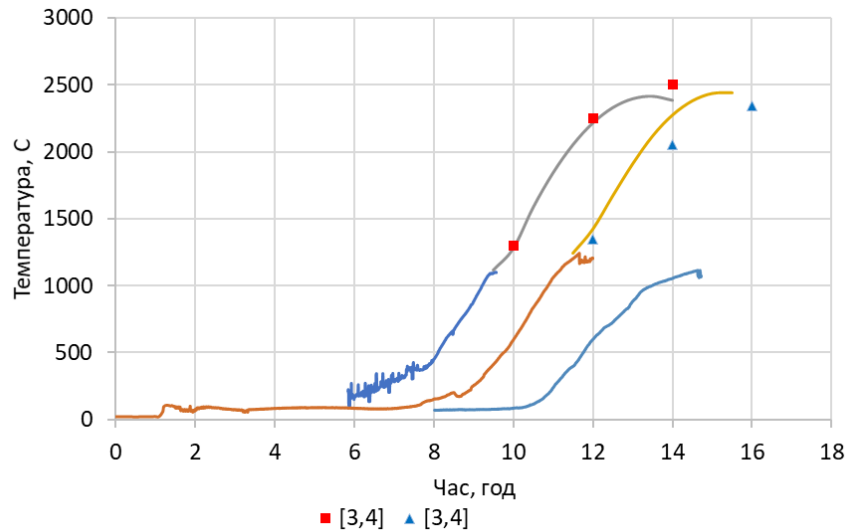


Рис. 3. Температури в поперечному перетині печі в визначених точках 5, 6, 7; ■, ▲ – дані робіт [3, 4]

Обробка експериментальних даних. Надалі з'явилася можливість оцінити теплофізичні дані для пересипки в печі в робочому інтервалі часу 8...16 годин у режимі нестационарного теплообміну.

Подальший аналіз ґрунтується на рівнянні нестационарної теплопровідності М.Thirumaleshwar [12], А.В. Гільчук, А.А. Халатов, Т.В. Доник [13]:

$$\frac{dT}{dt} = a\nabla^2 T + \frac{q_v}{c_v \rho}, \quad (2)$$

де a – коефіцієнт температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$;

q_v – об'ємна потужність внутрішнього джерела теплоти, $\text{Вт}/\text{м}^3$;

c_v – ізобарна теплоємність тіла, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

ρ – густина тіла, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для подальшого аналізу зауважимо, що:

- пересипка розглядається як фізичне тіло, для якого внутрішніх джерел теплоти немає;
- властивості пересипки однакові в усіх напрямках;
- зміна температури аналізується в одному напрямку x , а саме по лінії встановлених термопар ТП5, ТП6, ТП7. Тоді рівняння (2) набуває вигляду:

$$\frac{dT}{dt} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right). \quad (3)$$

В експерименті температури фіксувалися залежно від часу і у визначених точках з відомими значеннями координати, що дає можливість отримати шляхом обчислень залежності $\frac{dT}{dt}$ і $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$. Подальша обробка отриманих даних дозволяє оцінити порядок значень коефіцієнта температуропровідності a .

Ліва частина рівняння (3) обчислювалася для залежностей $T(\tau)$ (де τ – час, с) у вигляді відношень $\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{T_{i+1} - T_i}{\tau_{i+1} - \tau_i}$ з інтервалом 1 с для всіх трьох залежностей і визначалось середнє значення похідної $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$.

Узагальнення по залежностях $T(\tau)$ були виконані у межах збігу у часі всіх графіків температур згідно з показаннями ТП5, ТП6, ТП7. Таким інтервалом у часі виявився період від 9 до 14 години. Таким чином, відокремили певну кількість значень часу, для яких були узагальнені залежності $T(x)$. У відокремленому інтервалі часу були обрані значення від 9 до 14 год з інтервалом в 1 годину.

Визначення $\frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2}$ виконувалося за формулою М.Thirumaleshwar [12]:

$$\frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2} = \frac{2 \left(\frac{T_5 + T_7}{2} - T_6 \right)}{\Delta x^2}. \quad (4)$$

Розрахунки виконувалися для Т5, Т6, Т7 і для вказаних моментів часу в обсязі, що представлений у графічному вигляді на рисунку 4.

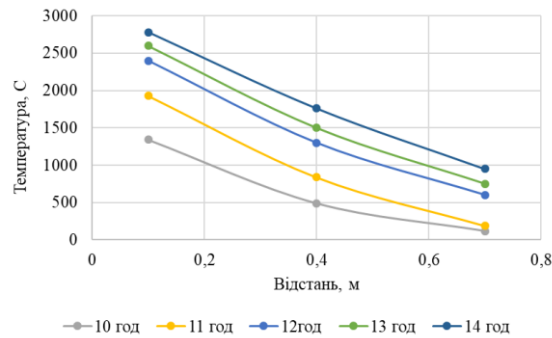


Рис. 4. Температури в точках розташування т/п Т5, Т6, Т7 для моментів часу 10...14 год

Розрахунки коефіцієнтів теплопровідності виконані за формулою:

$$a = \frac{\frac{\Delta T}{\Delta x}}{\frac{\Delta^2 T}{\Delta x^2}} \quad (5)$$

Результати розрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку коефіцієнта теплопровідності

Температурний інтервал, °С	Час, год	Коефіцієнт теплопровідності, a , $\text{м}^2/\text{с}$
120...1340	10	$4,764 \cdot 10^{-6}$
600...2400	12	$5,112 \cdot 10^{-6}$
750...2600	13	$5,881 \cdot 10^{-6}$
950...2780	14	$4,251 \cdot 10^{-6}$

Аналіз результатів досліджень. У роботі досліджувалася теплофізична характеристика сипучого матеріалу, що є сумішшю різномірних матеріалів, що різняться також за своїм гранулометричним складом. При перебігу технологічного процесу суміш зазнає хімічних перетворень, у результаті яких утворюються нові хімічні речовини зі своїми характерними теплофізичними властивостями. Змінний характер фізичних величин сировинних матеріалів викликає необхідність оцінки на підставі експерименту реальних значень теплових характеристик сипучої суміші з метою використання отриманих даних для моделювання теплового процесу утворення карбіду кремнію. Розбіжність розрахованих даних щодо коефіцієнта теплопровідності, що представлені, лежать у межах 9...13 %. У процесі хімічних перетворень, як спостерігалось в представленому експерименті, згідно з рівнянням (2) та дослідженням, описаним авторами А.В. Гільчук, А.А. Халатов, Т.В. Доник [13], утворюється досить велика кількість газоподібної речовини (СО), що викликає розрихлення шихтового шару і впливає безпосередньо на зміну його суцільності. Що своєю чергою впливає на характер зміни коефіцієнта теплопровідності, як це витікає з наведених значень a в таблиці 1.

Порядок розрахованих коефіцієнтів теплопровідності (табл. 1) відповідає фізичним уявленням про вказаний теплофізичний параметр для сипучого матеріалу, зокрема піску, який є головною складовою сировинної шихти в технологічному процесі. Опубліковані дані щодо коефіцієнтів теплопровідності ґрунтових сумішей пісок-природні вуглецеві сполуки дають значення при концентрації піску більше за 80 % у межах $(2,8...3,4) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Наявність вологи в промисловій шихті під час виробництва карбіду кремнію сприяє збільшенню значень коефіцієнта теплопровідності, що виводить ці значення в діапазон $\sim(4,3...6) \cdot 10^{-6}$.

Висновки. На підставі експериментальних досліджень температурних полів печей Ачесона виробництва карбіду кремнію узагальнено температурні залежності в перетині печі залежно від часу і лінійних координат. Розраховано числові залежності похідних температури у часі і в координатній площині, що дало можливість отримати значення ефективного коефіцієнта теплопровідності шихтових матеріалів для окремого діапазону робочих температур 1500...2500 °С. На підставі застосування математичних залежностей для кінцевих різниць для експериментальних даних розраховано значення коефіцієнтів теплопровідності для діапазону робочих температур печі Ачесона. Отримані результати дозволяють прогнозувати температури в середині високотемпературної зони печі, що дає можливість розробити технічні рішення щодо вдосконалення температурного регламенту роботи печі. Це своєю чергою призводить до збільшення виробничої потужності печі при незмінних витратах електроенергії. Майбутні розробки цього напрямку дозволять автоматизувати процес виробництва та зменшити витрати, закладені на підбір необхідних параметрів у геометрії печі, вологості шихти та інших важливих аспектах виробництва карбіду кремнію.

Список використаної літератури:

1. Silicon Carbide / IARC Monographs // Chemical Book [Electronic resource]. – Access mode : <https://amp.chemicalbook.com>.
2. Raj P. Silicon carbide formation by carbothermal reduction in the Acheson process: A hot model study / P.Raj, G.S. Gupta, V.Rudolph // *Thermochimica Acta*. – 2020. – Vol. 687. DOI: 10.1016/j.tca.2020.178577.
3. Derevyanko I.V. Mathematical modeling of heat power processes of silicium carbide production in Acheson furnace / I.V. Derevyanko, A.V. Zhadanos // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2010. – Vol. 2, № 5. – P. 330–335 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/265195997_Mathematical_Modeling_of_Heat_Power_Processes_of_Silicium_Carbide_Production_in_Acheson_Furnace.
4. Zhadanos O. Researching of thermophysical processes in Acheson furnace to develop automatic process control system / O.Zhadanos, I.Derevyanko // *Central European Researchers Journal*. – 2014. – Vol. 1, Issue 1. – P. 43–49. DOI: 10.13140/RG.2.1.3248.3287.
5. Gupta G.S. An analysis of heat distribution in the production of SiC process : 14th Global Congress on Manufacturing and Management (GCMM-2018) / G.S. Gupta, P.Raja, K.Tiwaria // *Procedia Manufacturing*. – 2019. – Vol. 30. – P. 64–71. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.02.010.
6. Kumar P.V. Study of formation of silicon carbide in the Acheson Process / P.V. Kumar, G.S. Gupta // *Steel Research International: A Journal for Steel and Related Materials*. – 2002. – Vol. 73, № 2. – P. 31–38. DOI: 10.1002/srin.200200170.
7. Карвацький А.Я. Числове моделювання випалу вуглеграфітових заготовок у багатокамерних печах / А.Я. Карвацький, І.В. Пулінець, І.Л. Шилович // Збірник доповідей науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців. – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – С. 93–95 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://cpm.kpi.ua/Doc/konf-2010.pdf>.
8. Carta G. Heat and Mass Transfer for Chemical Engineers: Principles and Applications / G. Carta // McGraw-Hill. – 2021. – 432 p. [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781264266678>.
9. Derrick W. The General Mathematical Theory of Heat Conduction / W.Derrick // *Applied Mathematics*. – 2024. – 56 p. [Electronic resource]. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/384341722_GENERAL_MATHEMATICAL_THEORY_OF_HEAT_CONDUCTION.
10. Bautista O. Transient heat conduction in a solid slab using multiple-scale analysis / O.Bautista // *Heat and Mass Transfer*. – 2005. – P. 150–157. DOI: 10.1007/s00231-005-0005-6.
11. Shadjirati Ya. Transient Heat Conduction / Ya.Shadjirati. – 2005. – P. 218–269 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.academia.edu/25850297/Cen29305_ch.
12. Thirumaleshwar M. Fundamentals of Heat and Mass Transfer / M.Thirumaleshwar. – Pearson Education, 2014. – 712 p. [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.scribd.com/document/495812588/M-Thirumaleshwar-Fundamentals-of-Heat-Mass-Transfer-Includes-Mathcad-based-Solutions-to-Problems-Pearson-Education-2014>.
13. Гільчук А.В. Теорія теплопровідності / А.В. Гільчук, А.А. Халатов, Т.В. Доник. – К. : НТУУ «КПІ», 2022. – 131 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48701/1/Teoriia.pdf>.

References:

1. «Silicon Carbide», *IARC Monographs*, Chemical Book, [Online], available at: <https://amp.chemicalbook.com>
2. Raj, P., Gupta, G.S. and Rudolph, V. (2020), «Silicon carbide formation by carbothermal reduction in the Acheson process: A hot model study», *Thermochimica Acta*, Vol. 687, doi: 10.1016/j.tca.2020.178577.
3. Derevyanko, I.V. and Zhadanos, A.V. (2010), «Mathematical modeling of heat power processes of silicium carbide production in Acheson furnace», *Metallurgical and Mining Industry*, Vol. 2, No. 5, pp. 330–335, [Online], available at: https://www.researchgate.net/publication/265195997_Mathematical_Modeling_of_Heat_Power_Processes_of_Silicium_Carbide_Production_in_Acheson_Furnace
4. Zhadanos, O. and Derevyanko, I. (2014), «Researching of thermophysical processes in Acheson furnace to develop automatic process control system», *Central European Researchers Journal*, Vol. 1, Issue 1, pp. 43–49, doi: 10.13140/RG.2.1.3248.3287.
5. Gupta, G.S., Raja, P. and Tiwaria, K. (2019), «An analysis of heat distribution in the production of SiC process», 14th Global Congress on Manufacturing and Management (GCMM-2018), *Procedia Manufacturing*, Vol. 30, pp. 64–71, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.010.
6. Kumar, P.V. and Gupta, G.S. (2002), «Study of formation of silicon carbide in the Acheson Process», *Steel Research International: A Journal for Steel and Related Materials*, Vol. 73, No. 2, pp. 31–38, doi: 10.1002/srin.200200170.
7. Karvatskyi, A.Ya., Pulynets, I.V. and Shylovych, I.L. (2010), «Chyslove modeliuвання vypalu vuhlegrafitovykh zahotovok u bahatokamernykh pechakh», *Zbirnyk dopovidei naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta naukovtsiv*, NTUU «KPI», K., pp. 93–95, [Online], available at: <https://cpm.kpi.ua/Doc/konf-2010.pdf>
8. Carta, G. (2021), «Heat and Mass Transfer for Chemical Engineers: Principles and Applications», *McGraw-Hill*, 432 p., [Online], available at: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781264266678>
9. Derrick, W. (2024), «The General Mathematical Theory of Heat Conduction», *Applied Mathematics*, 56 p., [Online], available at: https://www.researchgate.net/publication/384341722_GENERAL_MATHEMATICAL_THEORY_OF_HEAT_CONDUCTION

10. Bautista, O. (2005), «Transient heat conduction in a solid slab using multiple-scale analysis», *Heat and Mass Transfer*, pp. 150–157, doi: 10.1007/s00231-005-0005-6.
11. Shadjirati, Ya. (2005), «Transient Heat Conduction», pp. 218–269, [Online], available at: https://www.academia.edu/25850297/Cen29305_ch
12. Thirumaleshwar, M. (2014), *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Pearson Education, 712 p., [Online], available at: <https://www.scribd.com/document/495812588/M-Thirumaleshwar-Fundamentals-of-Heat-Mass-Transfer-Includes-Mathcad-based-Solutions-to-Problems-Pearson-Education-2014>
13. Hilchuk, A.V., Khalatov, A.A. and Donyk, T.V. (2022), *Teoriia teploprovodnosti*, NTUU «KPI», K., 131 p., [Online], available at: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48701/1/Teoriia.pdf>

Шилович Ігор Леонідович – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0002-9402-1114>.

Наукові інтереси:

- високотемпературні процеси;
- електрофізичні властивості полімерів і полімерних композицій.

E-mail: shil3011@ukr.net.

Шумивода Кирило Олександрович – аспірант кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0009-0008-2023-728X>.

Наукові інтереси:

- високотемпературні процеси;
- механічна обробка твердого матеріалу.

E-mail: kirillsumivoda@gmail.com.

Shylovich I.L., Shumyvoda K.O.

**Determination of the effective thermal diffusivity coefficient of the charge
in industrial Acheson furnaces for silicon carbide production**

The research focuses on the high-temperature process of silicon carbide production using the Acheson method in electric furnaces. One of the main challenges in production is the relatively limited temperature zone where silicon carbide with properties that meet technological requirements is formed. On the other hand, the existing furnace designs have thermal characteristics that restrict the potential to expand the high-temperature zone. Increasing the production volume of silicon carbide relies on improving the thermal regimes of the furnace in terms of temperature distribution and levels, as well as enhancing the thermophysical characteristics of the working zone.

The object of the study is defined as the working high-temperature zone of the Acheson furnace, which consists of the charge and the heat-generating core. The aim of the work is to determine the heat-transfer characteristics of the furnace's working zone as boundary conditions for the mathematical modeling of high-temperature processes.

To achieve this goal, experimental temperature measurements were carried out in the working zone of the furnace, and based on the obtained data and analysis of literature sources, temperature dependencies in the cross-section of the furnace were generalized with respect to time and linear coordinates.

The values of the effective thermal diffusivity coefficient of the charge, consisting of a mixture of sand (SiO₂) and petroleum coke (C), were determined for a specific range of operating temperatures. The obtained calculation results are based on the analysis of numerical dependencies of temperature derivatives over time and in the coordinate plane of the furnace's working area. Based on known mathematical formulas for finite differences, the thermal diffusivity coefficients were calculated for the operating temperature range of the Acheson furnace.

Keywords: silicon carbide; Acheson furnace; thermal conductivity coefficient; temperature dependences.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024.