

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

УДК 661.842:621.365

Іссам Хуссейн Шахін

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТА
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ВАПНЯКУ
З ВИКОРИСТАННЯМ НВЧ - ЕНЕРГІЇ**

Спеціальність 05.17.08 - процеси і обладнання хімічної технології

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків - 2006

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Харків, Україна

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Шاپорев Валерій Павлович
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, завідувач кафедри хімічної техніки та промислової екології

Офіційні опоненти: доктор технічних наук
Фокін Віталій Сергійович,
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри загальної теплотехніки

кандидат технічних наук, доцент
Посторонко Анатолій Іванович
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Слов'янськ, Донецької області, завідувач кафедри хімічної технології неорганічних речовин

Провідна установа: Сумський державний університет
Міністерства освіти та науки України, м. Суми

Захист відбудеться 19.04. 2007 року о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.05 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”

Автореферат розісланий 19.03.2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 64.050.05

Тимченко В.К.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На даний час процес випалювання карбонатних порід, зокрема вапняку, базується на тому, що необхідна для початку реакції дисоціації теплова енергія передається карбонатній сировині за рахунок теплопровідності і конвекції при спалюванні твердого або газоподібного палива. Процес переносу тепла від поверхні до внутрішніх шарів кусків сировини протікає із швидкістю, яка визначається величиною теплопровідності вапняку та продуктів реакції. При цьому енерговитрати на виробництво 1 т продукції при ступені випалювання 92% складає 3800 ± 300 кДж/кГ проти теоретичної питомої витрати 1682 кДж/кГ. При цьому вважається, що досягнуто лімітні норми витрати палива на виробництво одиниці продукції.

Крім того, маючи ці обмеження, традиційні процеси випалювання карбонатної сировини пов'язані ще і з небезпечними викидами продуктів згоряння палива (NO_x , SO_x , CO , пил). а продукт, що виробляється, забруднений продуктами згоряння палива і має досить низьку реакційну спроможність.

У зв'язку з вищенаведеним, особливе значення має науково-прикладна проблема зниження енергетичних затрат на виробництво одиниці продукції при одночасному підвищенні екологічної безпеки процесу і економічній доцільності прийнятих рішень. Як свідчать літературні джерела, найперспективнішим напрямком для вирішення цієї задачі є розробка і впровадження нового прогресивного обладнання для випалювання карбонатної сировини з використанням нетрадиційних джерел енергії, зокрема, СВЧ - енергії. Це джерело енергії є найбільш доступним, тому що на даний час розроблені і створені для промислового використання потужні генератори СВЧ, які спроможні віддавати в навантаження високий рівень потужності (> 600 кВт) в безперервному режимі при високих КПД ($> 0,8$) і при цьому є високо надійними приладами. Безперервний процес випалювання найбільш доцільно проводити в полі хвилі, що біжить; але до цього часу не розроблені конструкції печей, які використовують СВЧ - енергію, а також відсутні методи розрахунку СВЧ – печей. Це затримує розвиток цього напрямку і впровадження у виробництво. Тому дослідження в даному напрямку є актуальними та мають наукову і практичну значимість.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі “Хімічної техніки та промислової екології” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” в межах госпдоговірної теми "Розробка концепції та нових технологій рекультивації полігонів і переробки промислових і побутових відходів на території України і СНД" (ТОВ "Роспромекологія" м. Серпухов, Росія) та договором про науково-творчу співпрацю (ТОВ "Спецпромтехнологія" сел. Красково Московської області, Росія), в яких здобувач був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка науково обґрунтованого енерго- і ресурсозберігаючого, екологічно безпечного комбінованого процесу та обладнання для випалювання вапняку з використанням СВЧ - енергії. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати процес випалювання карбонатної сировини, можливі напрямки інтенсифікації цього процесу, запропонувати напрямки зменшення енергетичних витрат і матеріальних ресурсів, зменшення екологічного впливу;
- провести модельний розрахунок процесу в робочій камері СВЧ - печі при різних умовах, визначити раціональні значення параметрів;
- розробити теоретичні моделі процесу термічної дисоціації CaCO_3 в СВЧ - печі, визначити граничні і початкові умови, визначити шляхи зниження енерговитрат і інтенсифікації процесу, підтвердити адекватність моделей дослідженням процесу дисоціації CaCO_3 в СВЧ – печі;
- дослідити фізико-хімічні властивості продукта випалювання після СВЧ - печі і встановити різницю між цим продуктом та тим вапном, що виробляється за традиційною технологією;

- розробити конструкцію СВЧ - печі і науково обґрунтований технологічний процес з урахуванням результатів досліджень.

Об'єктом дослідження є комбінований процес для виробництва вапна шляхом випалювання карбонатної сировини в СВЧ - печі.

Предметом дослідження є експериментальна СВЧ - піч, теплообмін і кінетика процесу випалювання сировини, напівпродукти і продукти випалювання.

Методи досліджень – сучасні методи фізико-хімічного аналізу, які використані для дослідження властивостей сировини і продуктів випалювання, такі як рентгенофазовий аналіз, ІЧ, ЯМР, ЕПР та інші, а також математичне моделювання та теорія тепло-і масообміну для аналізу результатів досліджень та розробки методів розрахунку процесу.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше виконані дослідження, які характеризують поведінку CaCO_3 у височастотному спектрі магнітного поля; встановлено динаміку зміни деяких електричних властивостей (ϵ , ϵ' , ϵ'' , t_{yb}) та їхній зв'язок з кінетичними параметрами процесу;

2. Доведено, що СВЧ - нагрів ініціює процес дисоціації у всьому об'ємі зразків CaCO_3 і на основі цього розроблено оригінальну кінетичну модель процесу, що враховує миттєве об'ємне зародкоутворення нової фази.

3. Вперше розроблено модель безперервного процесу термічної дисоціації CaCO_3 в полі хвилі, що біжить, і на основі цієї моделі - методу розрахунку СВЧ - печі для заданих умов;

4. Встановлено, що при СВЧ - нагріві властивості продукту реакції (вапна) відрізняються від властивостей CaO , який виробляється за традиційною технологією; підвищеною реакційною спроможністю та високою чистотою.

5. Доведено, що реалізація процесу випалювання в СВЧ - печі гарантує зниження енерговитрат на виробництво одиниці продукції в 1,4-1,6 разів, а також вперше дозволяє створити екологічно безпечне виробництво вапна.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблено комбінований процес випалювання вапняку в СВЧ - печі, який гарантує зменшення енерговитрат на виробництво продукції і є екологічно безпечним; розроблено методи розрахунку СВЧ - печей і технічний проект печі. Науково-дослідні роботи готові до впровадження і на них подано заявку на одержання патенту України. Дані досліджень розглянуто та схвалено на технологічній нараді Науково-дослідного інституту основної хімії (НІОХІМ, м.Харків), підготовлено вихідні дані на проектування промислової установки для малотоннажних виробництв кальцинованої соди, які передано для впровадження до проектною частини НІОХІМ.

Практична значимість полягає також в оцінці соціально-економічних показників процесу: Зменшуються витрати енергії на виробництво; виключається плата за небезпечні викиди, підвищується культура виробництва, за рахунок високої якості продукції при її використанні у суміжних виробництвах знижуються коефіцієнти витрати сировини при збереженні високої якості продукції.

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному проведенні експериментальних досліджень та їх аналітичному обґрунтуванні (критичний аналіз, обробка отриманих результатів, тощо) Постановка задачі, обговорення результатів досліджень, їхня інтерпретація, узагальнення, формування основних положень, висновків та написання статей проводилось під керівництвом професора Шапорєва В.П.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації обговорювались на VI Всеукраїнській науково-методичній конференції з міжнародною участю "Екологія та інженерія. Стан, наслідки, шляхи створення екологічних технологій (м. Дніпродзержинськ, 2002 р.)", на II Міжнародній науковій конференції "Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки" (м. Чернівці, 2003 р.), на Міжнародній

науково-технічній конференції “Керамічному виробництву – інновації XXI віку” (м. Слав'яногорськ, Донецька обл. 2003 р.), на III Міжнародній науковій конференції “Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки” (м. Чернівці 2004 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції “Інтегровані технології та енергозбереження”. ІТЕ -2004 (м. Алушта), на засіданнях науково-технічної ради Науково-дослідного та проектного інституту основної хімії (НІОХІМ м. Харків, 2004 р.), на наукових семінарах кафедри хімічної техніки та промислової екології НТУ “ХПІ” (м. Харків 2003, 2004 р.).

Публікації. За результатами наукових досліджень опубліковано 5 робіт, в тому числі 3 статті у фахових виданнях ВАК України, а також подано заявку на патент України.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів і висновків. Повний обсяг дисертації становить 163 сторінки, 40 ілюстрацій по тексту, 8 таблиць по тексту, 2 таблиці на 2 сторінках, списку використаних літературних джерел з 110 найменувань на 13 сторінках та 2 додатки на 2 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано основну мету та завдання для її досягнення, відображено наукову новизну і практичну цінність.

У **першому розділі** розглянуто відомі дані щодо характеристики процесу і конструкції печей для випалювання вапняку, проведено аналіз існуючих даних щодо теоретичних основ процесу. Розглянуто відому на даний час інформацію щодо генераторів СВЧ. На основі знайденої інформації та її аналізу сформульовано цілі та завдання досліджень.

Другий розділ. Наукове обґрунтування і розробка моделі процесу дисоціації карбонатної сировини при СВЧ - нагріві містить в собі кінетичну модель процесу дисоціації CaCO_3 і модель розрахунку СВЧ - печі у полі хвилі, що біжить.

2.1 Кінетична модель процесу дисоціації CaCO_3 при СВЧ - нагріві.

Відповідно теоретичним положенням щодо взаємодії електромагнітного випромінювання з коливанням кристалічної решітки CaCO_3 і базуючись на тому, що нагрів діелектрика є наслідком діелектричних втрат при взаємодії електричної компоненти СВЧ - поля з твердою речовиною, а також на тому, що вище означена взаємодія відбувається з рівною імовірністю по усьому об'єму речовини, було прийнято, що на всіх мікро кристалах, з яких складається кусок CaCO_3 , тобто на всіх дискретних мікро областях об'єму відбувається зародкоутворення нової фази CaO . Крім того, вважаючи, що ефекти взаємодії електричної компоненти СВЧ - поля проявляються майже миттєво, було прийнято, що при СВЧ - нагріві спостерігається майже миттєва активація зародків нової фази по усьому об'єму, тобто на кожній мікро області. Виходячи з цього, на основі термодинамічних розрахунків було доведено, що рівноважні значення P_{CO_2} спостерігатимуться в інтервалі температур 1073-1100K, що нижче на 100 градусів значень P_{CO_2} , які спостерігаються при традиційному процесі. Крім того, з термодинамічного аналізу витікає можливість зниження енергії активації процесу. Базуючись на вище означених положеннях і розрахунках, а також на розрахункових формулах для описування кінетики протікання топохімічних процесів, які здобуті Джонсоном і Мелем, нами було побудовано кінетичну модель процесу дисоціації CaCO_3 для миттєвого об'ємного зародкоутворення:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = (\alpha - 1) V_{p(o)} k_i^p t^p, \quad (1)$$

де $t = k_{gi} \cdot b$, k_{gi} - константа зародкоутворення, b – ступінь перетворення CaCO_3 в CaO , P – порядок (ріст одинірний, двох, трьох, $P \rightarrow 1, 2, 3$), α_f – фактор форми, k_i – швидкість розповсюдження поверхні розділу $\text{CaCO}_3 / \text{CaO}$, $V_{p(o)}$ – безрозмірна константа.

З рівняння (1) витікає, що процес характеризується високим значенням константи зародкоутворення k_{gi} і відповідно малим значенням $V_{p(o)}$. Було встановлено, що для розглянутого випадку $V_{p(o)}$ є близьким до значень $1 \cdot 10^{-2}$. Задаючись параметром $V_{p(o)}$ і t по рівнянню (1) для $P \rightarrow 1, 2, 3$ в координатах $\phi - \phi_{0,5(0,9)}$ були здобуті теоретичні криві, які відображають кінетику процесу дисоціації CaCO_3 при об'ємному зародкоутворенні. В реальних умовах загальний час процесу дисоціації речовини складається з часу розігріву до заданої температури ϕ_1 , часу "хімічного кипіння" ϕ_2 і часу видалення з матеріалу залишків летючої субстанції (CO_2) – ϕ_3 . Таким чином загальний час дисоціації буде

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = \phi_1 + (G_p - G_\phi)/v + (G_\phi/v) \ln(G_i/G_k), \quad (2)$$

де G_p , G_ϕ , G_k – відповідно масова концентрація CO_2 – початкова, в момент ϕ і кінцева; v – швидкість нагріву до температури T . Розрахунок ϕ можна виконати, якщо дослідити залежність між середніми значеннями ϕ і змістом летючої складової (CO_2) – G . Ці величини пов'язані рівнянням, що є наслідком закону збереження енергії

$$c_0[C_0 + C_r G(\phi)] \frac{dT}{d\tau} = q(\phi) - v[T(\phi) - T_n] + \text{ДН} \ c_0 \frac{dG}{d\tau}, \quad (3)$$

де c_0 – густина продукту реакції, C_0 і C_r – питомі теплоємності продукту і CO_2 , ДН – тепловий ефект реакції, $v = (\beta_1 S)/V$ – приведений коефіцієнт тепловіддачі, β_1 – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні твердого тіла, S і V – поверхня та об'єм твердого тіла, $q(\phi)$ – густина внутрішніх джерел тепла. Величина $q(\phi)$ є функцією часу і її слід розглядати як управляючий параметр. Рівняння (3) має дві невідомі функції: $G(\phi)$ і $T(\phi)$. Задаючись однією з функцій, можна знайти іншу. Величина $q(\phi)$ при інших рівних умовах, залежить від величини напруги E електромагнітного поля і частоти f . Вміст CO_2 в твердому тілі починає помітно зменшуватись лише з моменту розігріву твердого тіла до температури T , при якій досягається рівноважний тиск P_{CO_2} .

При початкових умовах $G(\phi) = G_n$ і $\frac{dG(\tau)}{d\tau} = 0$ з рівняння (3) витікає

$$q_0 = v[T(\phi) - T_n] / e^{-v\phi / [c_0(C_0 - G_n \cdot C_r)]} \quad (4)$$

Якщо прийняти допущення, що $T = T_\infty$, при теплових втратах, то з рівняння (3) находимо, що густина джерел тепла в інтервалі $\phi_2 < \phi < \phi_3$ повинна змінюватися за таким законом

$$q(\phi) = E_A \ c_0 \frac{d\alpha}{d\tau} \ G(\phi) / G\phi + v(T_k - T_n) + c_0[C_0 - C_r G(\phi)] \cdot (T_k - T_n) / (\phi_2 - \phi_1), \quad (5)$$

/

де E_A – енергія активації, необхідна для розриву зв'язків, $\frac{d\alpha}{d\tau}$ швидкість дисоціації (рівняння 1) Величина $q(\phi)$ – це потужність, що передається електромагнітним полем в матеріал, що обробляється, і пропорційна частоті f , квадрату напруги поля E^2 і коефіцієнту діелектричних втрат $k = \epsilon \cdot \text{tg} \delta$. Потужність, яка поглинається матеріалом, швидкість підйому температури в матеріалі та глибина проникнення випромінювання в матеріал розраховуються за відомими співвідношеннями

$$P_a = k f E^2 (\epsilon_{II} / \epsilon_0),$$

$$\frac{dT}{d\tau} = P_a / (4,186 C c), \quad (6)$$

$$D = 3l_n / [8,68p(\epsilon_1/\epsilon_n)^{1/2} \operatorname{tg} \delta],$$

де P_a – потужність, яка поглинається матеріалом, ϵ_1, ϵ_n – значення компонент комплексної діелектричної проникливості, l_n – довжина хвилі, D – глибина проникнення, m , ϵ_0 – діелектрична проникливість вакууму.

Таким чином, рівняння 1-6 є математичною моделлю для описування кінетики процесу дисоціації CaCO_3 і відповідних розрахунків.

2.2 Модель розрахунку СВЧ печі з нагрівом в полі хвилі, що біжить.

Відповідно до кінетичної моделі для розрахунку ϕ , довжини поля l , к.п.д. печі необхідно розрахувати необхідну потужність P для конкретного використання та її еволюцією, що еквівалентно $q(\phi)$. Модель, що нижче приводиться, вирішує це питання. Під час створення моделі вважали, що матеріал на вході в піч і на виході з неї рухається з постійною швидкістю v_m . При цьому розглядалися три можливих схеми руху матеріалу і потоку енергії: 1- узгоджений тип (вектор енергії і вектор швидкості мають однаковий напрямок) II – протитечійний (зустрічний) тип (вектор енергії і вектор швидкості направлені назустріч один одному), III – поперечного типу (вектор енергії і вектор швидкості направлені перпендикулярно один одному). Далі припустили, що (переходячи до безкінечно малих прирощувань) матеріал просунувся на довжину $dZ = v_m d\phi$ і потужність dP , яку поглинув матеріал, визвала деяку втрату маси dG і відповідно зменшення постійної затухання хвилі на величину $d\beta$. Тоді можна довести, що

$$\frac{dP}{P_{TP}} = \frac{d\alpha}{\alpha_m}, \quad (7)$$

де β_m – постійна затухання електромагнітної хвилі з повністю дисоційованим матеріалом, P_{TP} – потужність, яка необхідна для ефективного протікання процесу.

Для I типу $\beta_m = 0$, тоді інтегруючи рівняння в межах $P(z) \leq P \leq P_{B\beta}$ і $\beta(z) \leq \beta \leq \beta_m$, отримаємо рівняння

$$\beta(z) = \beta_m [1 - (P_B - P(Z)/P_{TP})], \quad (8)$$

де $P(Z)$ – потужність при $Z = Z_i$, ($P_{B\beta} - P(Z)$ – потужність, яка була поглинута на перших метрах Z . Виходячи з теорії передаючих ліній, маємо

$$\frac{dP(Z)}{dZ} = -2\alpha(z)P(z). \quad (9)$$

Підставляючи (8) в (9) та інтегруючи в межах $0 \leq Z \leq 1$, $\beta_m \leq \beta(z) \leq \beta_i$, отримаємо рівняння для необхідної довжини печі

$$L = 1 / [2\beta_m(1 - P_{B\beta}/P_{TP})] \ln \{ 1 / [P_{TP}/P_{B\beta} + \frac{\alpha_m}{\alpha_c} (1 - P_{TP}/P_a)] \}. \quad (10)$$

В дисертації, використовуючи аналогічний підхід, отримані рівняння для визначення довжини печі L і еволюції потужності $P(z)$ для другого і третього типів печей, а також для всіх типів печей, коли $\beta_m \neq 0$. Ці рівняння за структурою і перемінними величинами аналогічні рівнянням (7-10).

Таким чином, отримані рівняння моделей дозволяють незалежно від типу матеріалу, що обробляється, розраховувати довжину печі, вхідну потужність і к.п.д. печі. Для практичної реалізації розрахунків необхідно мати експериментальні дані, які характеризують поведінку CaCO_3 в високочастотному електромагнітному полі, тобто значення величин затухання електромагнітної хвилі для матеріалу, що обробляється.

У **третьому розділі** дисертації “Об’єкти, предмети, методи дослідження і експериментальні установки” розглянуто характеристику матеріалу, що обробляється (CaCO_3), наведено хімічний склад, структурні характеристики і обґрунтовано фракційний склад CaCO_3 для проведення досліджень. Наведено опис експериментальної установки (рис. 1) для дослідження процесу нагріву матеріалу при СВЧ обробці.

Рис.1 - Принципова схема експериментальної установки

- 1 – магнетронний генератор; 2 – хвильовід;
 3 – прозора для електромагнітного випромінювання кварцова заглушка;
 4 – камера-резонатор (сталь 15Х25Т);
 5 – рухливий короткозамикаючий поршень для узгодження магнетрона з системою;
 6 – ваговимірювальна платформа; 7 – пневматичний датчик; 8 – манометр;
 9 – електропневмоперетворювач; 10 – багатоканальний самописець;
 1 – зразок; 12 – термопари; 13 – вакуумний трубопровід;
 14 – вакуумний насос

Вибраний діапазон хвиль для нагріву 12,6 см (2375 ± 50 МГц), приведена конструкція робочої камери (резонатора), яку виконано у вигляді прямокутника об’ємом $0,192 \text{ м}^3$ і розмірами $0,56 \times 0,57 \times 0,6$. Доведено, що в такій камері досягається практично рівномірний спектр резонансних довжин хвиль та резонансних частот. Наведені методи вимірювання електричних і фізико-хімічних властивостей обробленого матеріалу. Для вимірювання електричних властивостей використовувався СВЧ - міст Бачанана, який широко використовується для аналогічної мети. Відносна помилка при вимірюваннях не перевищує $\pm 20 \%$ з досить доброю відтворюваністю вимірювань. Як відомо з літературних джерел, ця помилка цілком допустима. Визначення фізико-хімічних властивостей продукту виконувалось з використанням хімічного аналізу, а також методом спектроскопії ГЧ, ЕПР і використанням мікроскопу УЕМ. Використався також рентгенофазний і рентгеноструктурний аналізи, питому поверхню зразків визначали методом БЕТ. Вимірювання тиску і температури в ядрі шматка матеріалу і на його поверхні виконувалась за допомогою тонкої керамічної трубки з термопарою, вмонтованою у відповідний шар зразку.

Згідно рис.1 хвильовід 2 представляє собою прямокутну трубку з перетином $0,052 \times 0,11 \text{ м}^2$. Генератор 1 має потужність до 50 кВт з робочою частотою 2375 МГц, на установку подавалась напруга 380 В з частотою 50 Гц. Час безперервної роботи складав 8 годин. Вихідна потужність в безперервному режимі при $K_{\text{сг}} < 1,1$ підтримувала 2,5 кВт, анодна напруга 3,6 кВт, анодний тік 1,1 А. При дослідженнях відбиття від термопар 12 нівелювалась за рахунок їхньої установки на довжині чверті хвилі ($\lambda/4$) одне від одної. Використовувались платино-родійові термопари. Ваговимірювальна платформа 6 виконана з прозорою для електромагнітного випромінювання кварцу. Зміна положення платформи фіксувалась пневматичними датчиками типу сопло – засувка. Зміна положення платформи приводила до зміни тиску повітря, далі пневматичний сигнал перетворювався в електричний і фіксувався багатоканальним самописцем.

В **четвертому розділі** “Дослідження процесу термічної дисоціації карбонатної сировини в СВЧ - печі” наведені експериментальні результати з кінетики процесу та зміни електрофізичних і теплофізичних властивостей матеріалу.

При дослідженні встановлено, що конструкція реакційної камери забезпечує виникнення електромагнітного поля в ній. При цьому частина електромагнітної енергії (P_a) поглинається зразком, друга частина (P) стінками камери. P залежить від напруги поля (E), P_a - пропорційна коефіцієнту втрат (ϵ''). Зміна відбитої потужності ($P_r = P_{Bx} - P_a - P$) характеризує взаємодію (E) з матеріалом. В початковий момент, коли температура матеріалу невелика відбувається незначна зміна (ϵ'') і відповідно (P_a), еволюція ($P_{Bx} - P_r$) визначає інтенсивність поглинання енергії. Потім ϵ'' дуже швидко зростає і досягає максимуму, відповідно P_a зростає і зменшується P_r . Вибрані розміри камери дозволили проводити об'ємний регульований нагрів у часі. В процесі експериментів було встановлено, що зміна діелектричної проникливості зразків CaCO_3 не суперечить теоретичним уявленням щодо поведінки діелектрика в перемінному електромагнітному полі. Максимум ϵ'' досягає 2 при зменшенні ϵ' на величину 3. Характер кривих зміни ϵ' , ϵ'' і ϵ''/ϵ' аналогічний кривим, що описують залежність зміни цих параметрів від кутової частоти ω і побудовані за рівнянням Дебая для інтервалу $0 < \omega < \infty$. Експериментальні криві, що описують зміну ϵ'' від часу (відповідно від T) корелюються із законом, який доводить, що збільшення температури зразку еквівалентне зменшенню кутової частоти. У відповідності з цим законом величина ($\text{tg}\delta$), як функція температури, приблизно описується кінетичним рівнянням:

$$\text{tg}\delta = \text{tg}\delta_0 [1 + \bar{\beta} T \ln(1/\omega\phi_0)] \quad (11)$$

де $\omega = 2\pi f$; $\text{tg}\delta_0$ – тангенс втрат при 293K, $\bar{\beta}$ – фазова константа рад/м; ϕ_0 – постійна часу поляризації $\sim 10^{-13}$ с. На рис.2 приведена залежність зміни маси зразку і $\text{tg}\delta$ від температури. Як свідчать експериментальні дані, наведені на рис.2а, спостерігається лінійна залежність $\text{tg}\delta$ від температури, причому ця залежність спостерігається і після втрати зразками 0,5 можливої втрати маси.

Рис. 2а – Залежність зміни маси зразків і $\text{tg}\delta$ від температури при $P_{\text{ост}} = 0,7$ атм.; $f = 2,45$ ГГц

Рис. 2б - Співвідношення між α , ϵ'' і T для зразків, що досліджувались, виміри приведені при $f = 2,45$ ГГц; $P_{\text{ост}} = 0,7$ атм.
(- - -) – зміна ϵ'' після максимуму

Відповідно (рис. 2б) спостерігається лінійна залежність ϵ'' від температури. Характер залежностей ($\text{tg}\delta - T$) і ($\epsilon'' - T$) узгоджується з теоретичним уявленням щодо поведінки діелектрика в перемінному електромагнітному полі. Залежність коефіцієнта поглинання (затухання) α також характеризується лінійною залежністю. Відомо, що лінійна залежність $\text{tg}\delta$ і ϵ'' від T характерна для діелектриків з ($\epsilon \leq 12$) в інтервалі $0,9 \leq f \leq 3$ ГГц, при цьому збільшення $\text{tg}\delta$ повинно складати $\sim 2\%$ на 1 градус. Відповідно (рис. 2а) у випадку, що розглядається, збільшення $\text{tg}\delta$ на 1 градус складає 0,8-1,2%, що узгоджується з теорією. При проведенні експериментів було також встановлено, що через 480-600 с після подачі навантаження в зразках досягалася температура 1173-1723K, тобто

швидкість нагріву сягала 1,4...2,0 град/с. При цьому температура в центрі (ядрі) зразка росла швидше ніж на його поверхні, середній градієнт температур між ядром та поверхнею зразка коливався в межах 50...60 градусів. Як відомо, при традиційному нагріві спостерігається прямо протилежна картина, і градієнт T між поверхнею зразка і ядром складає 300...350 градусів. Спостереження по зміні градієнтів температур в нашому експерименті свідчать про об'ємний нагрів зразка в СВЧ - полі і практично рівномірну можливість по об'єму ініціації реакції.

Розрахунки за формулами (6) з урахуванням того, що характерне значення E -пробою для дефектної структури діелектрика оцінюється приблизно 10^5 В/см, а також з урахуванням повітряного прошарку довели, що величина P_a повинна складати $\sim 11,45$ Вт/см³, а швидкість нагріву повинна дорівнювати $\sim 2..2,5$ град/с. Як свідчать експериментальні дані в експерименті $P_{Bx} \approx 12$ Вт/см³, $\frac{dT}{d\alpha} \approx 1,4...2,0$, $P_a \approx 11,07$ Вт/см³.

При цьому, як видно з рисунку 2а, процес дисоціації протікає майже повністю, ступінь перетворення $CaCO_3$ в CaO складає більше 95 %.

Базуючись на цих даних, були оцінені енерговитрати на виробництво 1 кг продукту (CaO) при умовно прийнятій конверсії 95%, які складали 2687,7 кДж/кг. Очевидно, що аналогічний показник за традиційною технологією складає 3812,2 кДж/кг. Подальші дослідження процесу проводились при $P_{Bx} = 12$ Вт/см³. На рисунку 3 наведені графіки, що описують зміну маси зразка m , температури в ядрі зразка T і на його поверхні T_n , тиску CO_2 відповідно в центрі $P_{CO_{2ц}}$ і на поверхні $P_{CO_{2п}}$, а також зміну густини, що ввижається, і пористості зразку. Як витікає з даних, наведених на рис. 3, при дисоціації $CaCO_3$ в СВЧ - печі отримані типові кінетичні криві. Спостерігається також $\Delta T = T - T_n$, зміна парціального тиску свідчить про те, що під час максимальної швидкості втрати маси в ядрі досягається максимальне значення P_{CO_2} . Обробка кінетичних кривих втрат маси за кінетичною моделлю (рівняння 1, теоретичні криві) (рис.4) довела, що експериментальні точки в координатах $(b - \phi/\phi_{0.5})$ задовільно відповідають теоретичній кривій 3, що описує миттєве зародкоутворення при тримірному ($P=3$) рості зародків. Це свідчить про адекватність кінетичної моделі, яку розроблено в розділі 2. Кінетика зміни густини і пористості при нагріві є свідомством того, що в період, коли спостерігається максимальна швидкість процесу і максимальна P_{CO_2} в ядрі зразка, густина зразків найменша, а пористість досягає 40-50%. Співставляючи результати кінетичних досліджень з результатами зміни електричних характеристик зразків слід відзначити, що суттєва втрата маси зразками супроводжується суттєвим зменшенням e і збільшенням $e_{\text{нлнл}}$. Найбільша швидкість втрат маси приблизно відповідає максимальному зменшенню e на $D_{e_{\text{max}}}$ і максимальному збільшенню $e_{\text{нлнл}}$ в координатах $e_{\text{нлнл}} - \phi$. Обробка ділянки кінетичної кривої, що відповідає вище означеним максимальним значенням величин в координатах $(b - \phi/\phi_{0.5})$, показала, що $B_p \approx 0,05$, константа зародкоутворення, віднесена до одного потенціального центру $K_g \sim 2 \cdot 10^5$. Ці результати корелюються з теоретичними положеннями щодо механізму нагріву діелектрика в СВЧ - печі і кінетичною моделлю зародкоутворення в об'ємі зразка (розділ 2). Крім цього, ці дані підтверджують те, що потужність $P_{i(\phi)}$, яка виділяється в діелектрику при взаємодії з СВЧ - енергією, є внутрішнім джерелом тепла. Розрахунок з рівняннями (4,5) дав значення q_0 (потужність, необхідна для початку дисоціації) $\sim 3,8 \cdot 10^{-3}$ Вт/см³, а $q_A - 8,5 \cdot 10^{-3}$ Вт/см³.

Рисунок 3а – Зміна маси зразка m , температури (T , T_n), тиску CO_2 ($P_{CO_{2ц}}$, $P_{CO_{2п}}$) в процесі розкладу зразка А

Рисунок 3б – Зміна густини, що ввижається , зразка А (c_k) і пористості (Π) в процесі нагріву

Рисунок 4 – Обробка експериментальних даних з кінетики процесу розкладу зразків А(0) и В (б)

Ці значення в сумі близькі до значення P_{B6} , які спостерігаються в експерименті. Крім цього, залежність b (постійної затухання хвилі) на рис.2 дозволяє з урахуванням значень P_{B6} , P_{TP} розраховувати за відповідними рівняннями константи затухання b_l , b_M , b_m . Наприклад, b_M розраховується по формулі

$$b_M = b(z) / [1 - (P_{Bx} - P_z) / P_{TP}] ,$$

де всі величини відомі за винятком b_M , $b(z)$ – експериментальні дані з рис. 2. Відношення eN_0N_0/eN_0 при розрахунках також беруться з рис. 2.

Таким чином, результати експериментальних досліджень та їхній аналіз підтверджують теоретичні положення, які наведені в розділі 2, і дозволяють використовувати отримані експериментальні дані для розрахунку необхідних параметрів (ϕ , l) по моделям. Далі в розділі наводяться результати дослідження фізико-хімічних властивостей CaO , отриманого в результаті термічної дисоціації $CaCO_3$ в експериментальній СВЧ - печі. Властивості порівнювались з властивостями CaO , що виробляється в шахтній печі за традиційною технологією. Різними фізико-хімічними методами, які приведені в розділі 3, було доведено два основних положення: реакційна здатність CaO після СВЧ печі в 1,5-1,8 рази вища ніж CaO після шахтної печі, а питома поверхня в 15-20 разів вища. Наприклад, питома поверхня CaO після шахтної печі 3,8..5 m^2/g , а після СВЧ - печі 89 m^2/g . При цьому рентгенограми останньої ближчі до рентгеноаморфних. Аналіз спектрів ЕПР, ІЧ і рентгенограм довів, що реакційна здатність CaO пов'язана з концентрацією точечних дефектів в решітці окислу і дисперсністю блоків. Останнє непрямо підтверджує, що концентрація дефектів, особливості, що спостерігаються, взаємодії між ядрами

и і елементами решітки (ІЧ,ЕПР), а також електропровідність зразків і їхні адсорбційні характеристики є наслідком особливості нагріву матеріалу і нового механізму процесу (кінетична модель). Друге положення те, що при СВЧ - нагріві, як доведено в роботі різними методами аналізу, процес твердофазної взаємодії з домішками сировини (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 та інші) майже не протікає, або протікає з дуже низькою інтенсивністю, що виключає утворення неактивної CaO . Це питання, можливо, потребує окремих досліджень тому, що відомо, що при зростанні дефектності структури і пористості матеріалу інтенсифікуються твердофазні реакції.

У п'ятому розділі “Розрахунок і конструювання напівпромислової установки для виробництва вапна” наведений критичний аналіз СВЧ - печі для виробництва вапна, відомої з літературних джерел. З точки зору результатів дослідження в розділах 2-4 виявлені основні недоліки конструкції печі і технологічного процесу. Доведено, що реалізація відомого технічного рішення в промислових або напівпромислових умовах є утрудненою. Згідно з результатами досліджень (розділи 2-4), запропоновано новий підхід до технологічного процесу. По-перше, карбонатну сировину фракцією 40-60 мм необхідно попередньо підвергнути тепловій обробці з метою зневоднення і нагріву до 523-573K. Це дозволяє подавати матеріал в СВЧ - піч з умовно рівномірною пористістю 5..8%, що

забезпечує рівномірне поглинання СВЧ - енергії, виключення зон перегріву і, відповідно, підвищення коефіцієнту поглинання енергії до 80-85%. Крім того, як витікає з рівнянь, наведених в розділі 2 і експериментальних даних розділу 4, попередній нагрів матеріалу забезпечує зниження b_m (постійної максимального затухання хвилі, що біжить), а це забезпечує (рівняння розд. 2) зменшення часу обробки, довжини печі і, відповідно, її об'єму.

По-друге, в печі необхідно досягти відношення $P_{вх}/P_{тр} \approx 1$, при цьому, як витікає з розрахунків за моделлю (розділ 2) при ступені конверсії $\sim 97\%$ можна досягти зниження питомої витрати енергії на виробництво 1 кг продукту $\sim 2388 \pm 100$ кДж/кг, що в 1,3 рази менше, ніж в відомому технічному рішенні. Досягнення $P_{вх}/P_{тр} \approx 1$ з урахуванням недоліків прототипу можливо досягти у третьому типі печі (розділ 2), тобто при перпендикулярному напрямку векторів v_m і E . Виходячи з вище наведеного, було розроблено конструкцію печі, основним елементом якої був хвильовід - резонатор циліндричного типу, виконаний у вигляді секторів-секцій з посекційним розміщенням магнетронів. Тобто резонатор складався з низки зв'язаних послідовно резонаторів, що забезпечує найменше відхилення функції P_i (тобто q) від середнього значення і забезпечує відповідно рівномірність нагріву. Вище означене свідчить про те, що запропонований резонатор є замідлюючою системою, що уповільнює, і забезпечує відхилення P_i від середнього значення $\pm 7\%$. У внутрішній частині резонатора встановлений круглий стіл, який обертається з необхідною швидкістю, яка відповідає v_m , і на який дозуються шматки матеріалу рівномірним шаром.. Круглий стіл закріплено на полуму валі, в який після проходження матеріалом зони випалювання за допомогою спеціальних пристроїв матеріал згортається і подається в бункер. Резонатор є нерухомим . має отвори для дозування матеріалу, а також коротко замкнені поршні для настроювання процесу (повна інструкція приведена в тексті дисертації).

Далі в розділі наведений алгоритм розрахунку запропонованої конструкції печі, який повністю базується на моделях розділу (2) і експериментальних даних (розділ 4). Виробність печі було взято на рівні $100 \text{ кг/м}^2\text{год}$. В результаті розрахунку було визначено швидкість руху матеріалу $v_m = 0,006 \text{ м/с}$, довжина образуючої круглого столу (тобто довжина печі) $l = 16 \text{ м}$ і необхідна площа столу $S = 190 \text{ м}^2$. Крім цього, за значеннями $P_{тр}$ і значеннями q було обрано тип магнетрону (ДСТУ 2354-94) типу МІ, або М, які забезпечують $P_{вих} = 250 \text{ кВт}$ у безперервному режимі. Далі в розділі розглянуто питання рівномірного дозування вапняку на круглий стіл печі. Було доведено, що існуючі дозатори шматків матеріалу не відповідають вимогам процесу, в якому енергетичним джерелом є СВЧ - енергія. Це пов'язано з тим, що для забезпечення ефективного протікання процесу необхідне досить точне дозування маси вапняку і розподіл його по круглому столу рівномірним шаром. Досягнення цих умов, як уже відзначалось раніше, гарантує рівномірне поглинання СВЧ - енергії.

В роботі було розроблено систему автоматичного дозування вапняку з використанням нестандартних елементів. Відповідно до цієї системи вимірювання масової витрати вапняку проводиться в падаючому потоці. Метод засновано на принципі вимірювання енергії матеріалу, що падає, і перетворюванні її в стандартний пневматичний сигнал, пропорційний масовій витраті. Розроблено схему і реалізовано конструкцію вимірювача, проведено випробування в перехідному і стаціонарному режимах. Точність дозування складала $\pm 2\%$ від середнього значення масової витрати вапняку на процес. Крім того, на основі літературних джерел було запропоновано автоматичну схему регулювання температури в печі з точністю ± 10 градусів. Реалізацію процесу термічної дисоціації вапняку було проведено на укрупненій дослідній установці виробністю 100 кг/год на виробництві ТОВ "Спецпромтехнологія". Установка експлуатувалась без системи очищення газу. Результати випробувань наведені в таблиці 1. Там же наведені дані і щодо порівняння, як з відомим прототипом, так і з традиційною шахтною піччю . Як свідчать дані, наведені в таблиці 1, розроблений процес має енергетичні переваги перед

традиційним технологічним процесом, а також процесом, що реалізується у відомому технічному рішенні. Крім того, наведені результати підтверджують доцільність прийнятих технічних і конструктивних рішень і підтверджують працеспроможність установки.

ВИСНОВКИ

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню науково-практичної задачі зниження енергетичних і матеріальних витрат на виробництво вапна, зменшення екологічної безпеки виробництва. При цьому:

1. Виконані дослідження, які характеризують поведінку CaCO_3 у високочастотному електромагнітному полі; встановлена динаміка зміни електричних властивостей (ϵ , ϵ'' , $\tan \delta$) та їх взаємозв'язок з кінетичними параметрами.
2. Доведено, що СВЧ - нагрів ініціює процес дисоціації у всьому об'ємі матеріалу, і на основі цього розроблено кінетичну модель процесу, яка враховує миттєве об'ємне зародкоутворення.
3. Розроблено алгоритм розрахунку безперервного процесу дисоціації в полі хвилі, що біжить, для СВЧ - печі.
4. Встановлено, що при СВЧ - нагріві властивості продукту, що виробляється, різко відрізняються від властивостей CaO , що отримується за традиційною технологією, доведено, що продукт має значно більшу реакційну спроможність і обґрунтовано це явище.
5. Показано, що практичне значення здобутих результатів заключається в розробці комбінованого процесу випалювання CaCO_3 в СВЧ - печі, який гарантує зниження енерговитрат на одиницю продукції в 1,4....1,6 разів, що зменшує її собівартість, а також дозволяє створити екологічно безпечне виробництво.
6. Результати дисертаційної роботи прийнято до використання при проектуванні НІОХІМом (м. Харків) промислово-дослідної установки для малотоннажних виробництв вапна з метою вироблення чистих оксиду та гідроксиду кальцію на Слов'янському заводі хімічних реактивів. (Додаток 2)

Таблиця 1 – Порівняльні показники процесу на СВЧ - установці

Назва	Ступінь використання СВЧ -енергії	Пофракційний склад, мм	Режим сушки..	Пористість після сушки	Режим випалювання				Ступінь конверсії	Питомі витрати, кДж/кг
					$P_{тр}/P_{вб}$	залишко- вий тиск, МПа	Час випалю- вання,год	Тип контакту векторів енергії і потoku матеріалу		
Прототип шахтна СВЧ - піч	62	40-80	-	< 1	0,8	1,035	1,2	↓ E ↓ M	92,0	3090
СВЧ - піч розроблена	70	40-80	150	1.-2	0,8–0,9	0,07	1,0	↓ E ←M	93,5	2850
	80	40-80	250	3-4	1,0	0,08	0,7	↓ E ←M	96,5	2388
	80	40-80	450	7-8	1,0	0,09	0,6	↓ E ←M	98,5	2400
	82	40-80	600	10-12	1,0	0,08	0,45	↓ E ←M	98	2300
Шахтна піч промислова традиційна		40-80		< 1	1,8	1,035	2,5	↓ E ↑ M	92-94	3860

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Иссам Хуссейн Шахин, В.П.Шаповрев, О.А.Лопухина Анализ способов производства извести и обжига карбонатного сырья// Вісник Національного технічного університету "ХПІ".-Харків: НТУ"ХПІ".- 2003.- №.3 - С.76-91.

Здобувачем проведено аналіз літератури та вибір напрямків дослідження з випалювання вапна в СВЧ – пічах.

2. Иссам Хуссейн Шахин, В.П.Шаповрев Принципы конструирования СВЧ - печей для нагрева материала с последующей его диссоциацией или сушкой без изменения агрегатного состояния// Вісник Національного технічного університету "ХПІ".- Харків: НТУ"ХПІ".-2004, №29.-С.57-67.

Здобувачем зроблено аналіз процесу і розробка основних положень математичної моделі процесу в полі хвилі, що біжить.

3. Иссам Хуссейн Шахин, Шаповрев В.П. Обработка природного карбоната кальция в СВЧ печи при воздействии поля бегущей электромагнитной волны//Интегрированные технологии и энергосбережение .- Харьков: НТУ "ХПИ".- 2004.-№2.-С.96-107.

Здобувач особисто провів експериментальні дослідження, їх аналіз та підтвердження адекватності розробленої моделі

4. Тенденко С.А., Иссам Хуссейн Шахин, Шаповрев В.П., Способ производства извести с использованием СВЧ - установки// Тез. Третьої Міжнародної наукової конференції. "Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної системи "-Чернівці: Зелена Буковина.-2004. С.297-300.

Здобувач зробив оцінку процесу з точки зору екологічної безпеки.

5. Иссам Хуссейн Шахин, О. Філенко, В. Моїсєєв, В. Шаповрев Аспекти екологічної безпеки виробництва вапна та карбонатної сировини // Тез. докл. Другої наукової конференції "Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки." - Чернівці: Зелена Буковина.-2003. С.161-165.

Здобувачем проведено аналіз екологічної безпеки виробництва вапна.

АНОТАЦІЇ.

Іссам Хуссейн Шахін Підвищення ефективності процесів та обладнання для теплової обробки вапняку з використанням НВЧ - енергії.-Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, Харків ,2006 р.

Захищаються результати теоретичних та експериментальних досліджень з нагріву вапняку в НВЧ - полі і кінетика процесу дисоціації виконаних для здійснення процесу випалювання CaCO_3 в НВЧ - печах . На основі аналізу даних експериментальних досліджень встановлені особливості процесу нагріву, кінетики дисоціації, зв'язок між зміною електричних характеристик CaCO_3 при нагріві в СВЧ полі і кінетикою процесу дисоціації. Доведено, що НВЧ – нагрів ініціює процес дисоціації у всьому об'єму матеріалу і на основі цього розроблено кінетичну модель процесу, яка враховує миттєве об'ємне зародкоутворення. Встановлено, що при НВЧ – нагріві властивості продукту, що виробляється, різко відрізняються від властивостей CaO , що отримується за традиційною технологією, доведено, що продукт має значно більшу реакційну спроможність, ніж традиційний і обґрунтовано це явище Розроблено математичні моделі процесу дисоціації CaCO_3 при нагріві в НВЧ - полі і модель розрахунку НВЧ - печі. Запропоновано апаратурно-технологічну схему процесу. Виконано техніко-економічну оцінку.

Ключові слова: теоретичні, експериментальні дослідження, високотемпературний процес дисоціації, НВЧ - енергія, вапняк, параметри процесу, кінетика, математичне моделювання, створення реактора, тепломасообмін.

Иссам Хуссейн Шахин. Повышение эффективности процессов и оборудования для тепловой обработки известняка с использованием СВЧ - энергии. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – Процессы и оборудование химической технологии - Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт” Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2006 г.

В диссертационной работе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований кинетики, тепломассообмена процесса диссоциации карбоната кальция при нагреве с использованием СВЧ-энергии.

Методы производства извести, существующие на сегодняшний день, имеют ряд недостатков, а именно: ограничение по теплопередаче при проведении процесса обжига и существование опасных выбросов в окружающую среду. Поэтому особое значение имеет научно-прикладная задача по снижению энергозатрат на получение единицы продукции и повышение экологической безопасности процесса. Анализ литературных данных показал, что наиболее перспективным направлением для решения этой задачи есть разработка и внедрение нового прогрессивного оборудования для производства извести с использованием нетрадиционных источников энергии, например, СВЧ - энергии.

Этот источник энергии является наиболее доступным, потому что в настоящее время разработаны и выпускаются промышленностью мощные СВЧ - генераторы, которые могут отдавать в нагрузку высокий уровень мощности (>600 кВт) в непрерывном режиме при высоких КПД ($>0,8$). При этом наиболее рационально проводить процесс в поле бегущей волны. Однако внедрение в производство этого метода задерживается из-за отсутствия конструкций печей, методов их расчета и экспериментальных данных по нагреву и кинетике процесса в СВЧ - поле. В диссертационной работе решаются вышеуказанные задачи . На основании теоретических данных о поведении диэлектрика в поле СВЧ разработана кинетическая модель процесса,

учитывающая внутренние источники тепла и мгновенное зародышеобразование по всему объему. Разработана математическая модель процесса в поле бегущей волны, позволяющая независимо от типа сырья с учетом его электрических характеристик рассчитывать размеры печей и характер контакта материала с потоком энергии. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие адекватность моделей.

Разработана аппаратурно-технологическая схема процесса. Проведены укрупненные испытания новой конструкции СВЧ - печи и процесса в ней. Показано, что при реализации процесса достигается снижение энергозатрат на выпуск единицы продукции в 1,4-1,6 раза. При этом процесс становится экологически безопасным.

Ключевые слова: теоретические, экспериментальные исследования, высокотемпературный процесс диссоциации, СВЧ – энергия, карбонат кальция, основные параметры исследования, кинетика, математическое моделирование, создание реактора, теплообмен.

Issam Hussein Chahine. Mining conversation of energy and ecological secure process of effecting inform with usage of a very high frequency of an energy. – Manuscript/

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.17.08 – Processes and equipment of a chemical process engineering – National engineering university “the Kharkov polytechnic institute” Ministries of education and sciences of Ukraine, Kharkov, 2006.

The outcomes idealized and experimental researches of heat CaCO_3 in a very high frequency of a field and kinetics of process of a dissociation CaCO_3 at heat with usage of a very high frequency of an energy are explained in scientific work to activity. The singularities of process of heat, kinetics of a dissociation, connection between a modification of electrical performances CaCO_3 at heat in a very high frequency of a field and kinetics of process of a dissociation are established on a basis of a data analysis of experimental researches. The mathematical models of process of a dissociation CaCO_3 at heat in a very high frequency of a field and model of a very high frequency of board are designed. The hardware – flow diagram of process is offered. The technological estimation is carried out.

Key words: Process heat dissociation, lime, high frequency of an energy, CaCO_3 , kinetics, mathematical model, construction of reactor, technological chem.