

ВІДГУК

офіційного опонента - доктора технічних наук, професора
Нагурського Олега Антоновича
на дисертаційну роботу

СІМЕЙКО Костянтина Віталійовича

**«Науково-технологічні основи реалізації високотемпературних процесів у
електротермічному псевдозрідженому шарі»,**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Актуальність теми дисертаційної роботи

У ряді галузей промисловості використовуються високотемпературні процеси, які реалізуються в діапазоні температур 600 ...3000 °С. Досягнення таких високих температур часто є неможливим або недоцільним з використанням органічного палива. Перспективним у такому випадку є їх реалізація із застосуванням техніки електротермічного псевдозрідженого шару, який характеризується створенням високореакційного середовища в псевдозрідженому шарі частинок, через які проходить електричний струм.

Це дає змогу значно інтенсифікувати хімічні реакції, які протікають в реакторі. Незважаючи на велику кількість досліджень техніка електротермічного псевдозрідженого шару так і не набула широкого промислового застосування, особливо для проведення високотемпературних процесів.

Тому актуальність обраної дисертантом теми «Науково-технологічні основи реалізації високотемпературних процесів у електротермічному псевдозрідженому шарі» не викликає сумнівів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Роботу виконано в Інституті газу НАН України згідно тематичними планами наукових досліджень за науковими темами: «Наукові засади конверсії вуглеводнів у газу – реагенти для одержання вуглецевих і металевих наноматеріалів», ОК 0118U000456; проєктам наукових програм НАН України «Фундаментальні аспекти відновлювано-водневої енергетики і паливно-комірчанних технологій», «Фундаментальні проблеми створення нових, наноматеріалів і нанотехнологій».

Короткий аналіз змісту дисертаційної роботи

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі досліджень, викладено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, надано відомості про зміст роботи і структуру її побудови, апробацію, публікації і особистий внесок автора.

У першому розділі на основі літературних джерел проведений аналіз теплотехнічних параметрів, енергетичних витрат та технологічних особливостей високотемпературних хімічних процесів для визначення можливості застосування техніки електротермічного псевдозрідженого шару.

Серед технологій, що характеризуються високими енерго- та ресурсозатратами для яких перспективним є застосування електротермічного псевдозрідженого шару, можна виділити: одержання водню та високотемпературного водневмісного газу, одержання піровуглецю та пірографіту, очищення графіту, одержання карбіду кремнію та урану. Одним з видів перспективного ядерного палива, яке у значній мірі підвищить безпеку АЕС, є мікротвели. Важливими з цього погляду також є дослідження з нанесення захисного піровуглецевого покриття мікротвелу у реакторах з електротермічним псевдозрідженим шаром.

Проведений аналіз літературних джерел підтверджує актуальність досліджень високотемпературних процесів у реакторах з електротермічним псевдозрідженим шаром з подальшим створенням енергетично ефективних та ресурсозберігаючих технологій та технологій екологічного напрямлення

У другому розділі розглянуті та описані методологія та методи досліджень, які використовував здобувач під час виконання роботи, а саме: методика розрахунку термодинамічних параметрів процесів програмою TERRA; методи теорії тепломасообміну, теорії подібності. Наведена методика розрахунку теплообміну у 2D та 3D моделях програмою ANSYS. Експериментальна частина ґрунтується на проведенні високотемпературних термохімічних процесів у реакторах з ЕТШШ. Дослідження проводились на різних конструкціях реакторів ЕТШШ та з різними температурними і технологічними режимами.

У третьому розділі проведений розрахунок теплотехнічних характеристик основних термохімічних процесів та моделювання високотемпературного теплообміну в ЕТШШ. На їх основі визначено оптимальні температури для досягнення термодинамічної рівноваги основних високотемпературних термохімічних реакцій, для яких доцільно використовувати техніку ЕТШШ. На основі термодинамічних та теплотехнічних розрахунків встановлені основні параметри, необхідні для створення та конструювання нового обладнання з ЕТШШ.

У четвертому розділі представлено спеціально створене експериментальне обладнання для дослідження високотемпературних хімічних процесів у ЕТШШ. До нього входять реактори та установки з ЕТШШ для дослідження процесу конверсії вуглеводневих газів, нанесення захисного піровуглецевого покриття на моделі мікротвелу, впливу способу нагрівання на структуру піровуглецевого матеріалу, іммобілізації зольних залишків теплоенергетики, корозійної стійкості

піровуглецю під час обробки високотемпературною парою, високотемпературної очистки природного графіту. Лабораторні установки ЕТШІ для проведення піролізу вуглеводневих газів, з зовнішнім нагріванням (кільцевим ЕТШІ) для дослідження процесу піролізу вуглеводневих газів, пілотна установка для дослідження процесу піролізу вуглеводневих газів.

Розділ 5 присвячено розробці та дослідженню енергоефективної та екологічно безпечної технології високотемпературного очищення природного графіту. Даний розділ направлений на дослідження основних теплофізичних особливостей даного процесу і одержанні цільової ТФШІ.

В основу технології покладена ідея високотемпературної очистки природного графіту у безкисневій атмосфері без використання шкідливих галогеномісних сполук.

Відповідно до проведених досліджень автор робить загальний висновок, що теоретично і експериментально доведена можливість високотемпературної очистки природного графіту до високих ступеней чистоти в ЕТШІ.

У шостому розділі наведені результати досліджень теплотехнічних та технологічних особливостей процесу одержання високотемпературних водневмісних газів у ЕТШІ. У якості досліджень, направлених на одержання цільової газової фази псевдозрідженого шару, були обрані процеси повітряної конверсії та піролізу вуглеводневих газів. Наведені результати порівняння розрахункових та експериментальних даних підтверджують адекватність розробленої методики розрахунку необхідної кількості теплової енергії для проведення ендотермічного процесу в реакторі ЕТШІ. Результати досліджень відкривають перспективу створення енергоефективної технології отримання водню. Висока температура одержуваного водневмісного газу дає можливість використання його в різних високотемпературних процесах за участю водню.

Розділ 7 присвячений дослідженню високотемпературних процесів у ЕТШІ для створення хімічних технологій одержання матеріалів. Наведені результати порівняння одержаних експериментальних даних (температура процесу, спосіб нагрівання, густина та мікроструктура одержаного піровуглецю) з літературними в залежності від температури та впливу плазми мікророзряду (ПМР) дали змогу виділити три види структури піровуглецю, який був осаджений у ЕТШІ: ламінарну, ізотропну та зернисту (крапельну).

Експериментально доведено утворення карбїду кремнію з капсульованого піровуглецем кварцового піску під час високотемпературної (1500 ...1600 °С) обробки у реакторі з ЕТШІ.

Розділ 8 присвячено дослідження високотемпературних процесів у ЕТШІ для створення хімічних технологій у напрямку енергетики.

Теоретично розглянуто два можливих варіанти отримання карбїду урану: відновленням металевого урану в атмосфері метану за температури $T = 800 \dots 1500$ К (для отримання UC) і $T = 2800 \dots 3200$ К (для отримання UC₂) в реакторі з ЕТШШ і капсулюванням UO₂ піровуглецем у ЕТШШ з подальшим карботермічним відновленням за температури $T = 2000 \dots 2400$ К. Проведення досліджень процесу нанесення піровуглецевого покриття у ЕТШШ на частинки мікротвєлу використовували моделі, які за фізико-хімічними властивостями наближені до дисперсного ядерного палива. Доведна принципова можливість одержання у ЕТШШ композитного матеріалу «природний графіт - піровуглець». Даний матеріал має перспективу застосування у акумуляторних технологіях.

Висновки відтворюють узагальнену оцінку результатів наукових досліджень, наведених в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації ґрунтуються на теоретичних та експериментальних методах вивчення високотемпературних процесів у ЕТШШ. Для аналізу ефективності теплових процесів і режимів роботи використовуються термодинамічні методи, методи теорії тепло- та масообміну, методи теорії подібності. Оцінка адекватності розроблених і адаптованих методик, достовірність запропонованих теоретичних рішень і методів виконувалася шляхом порівняння експериментальними результатами.

Достовірність висновків і рекомендацій практичного характеру підтверджується використанням апробованих методик та обґрунтованим обсягом аналітичних та експериментальних досліджень.

В процесі детального аналізу дисертаційної роботи та автореферату не виявлено висновків та тверджень, що викликають сумніви.

Наукова новизна роботи

Робота має наукову новизну, яка полягає в створенні наукових основ розвитку теплофізичних і технологічних основ реалізації високотемпературних хімічних процесів у електротермічному псевдозрідженому шарі, вирішені проблем вдосконалення технологій, пошуку раціональних режимів, конструктивних рішень і забезпеченням стабільної роботи технологічного обладнання.

В роботі отримано нові науково обґрунтовані результати, серед яких вперше:

- теоретично та експериментально доведено можливість очищення природного графіту Заваліївського родовища та штучного графіту у високотемпературному ЕТШШ під дією високих температур;

- на основі експериментальних даних виявлено вплив технологічних параметрів процесу піролізу вуглеводневих газів на формування мікроскопічної структури піровуглецю;
- експериментально доведено утворення карбїду кремнію з капсульованого піровуглецем кварцового піску за умов високотемпературної обробки у реакторі з ЕТШШ (вихід карбїду кремнію складас 60 ...70 %);
- розроблені теоретичні основи технології одержання дрібнодисперсного карбїду кремнію у ЕТШШ з нанесенням піровуглецевого покриття на оксид кремнію та подальшим карботермічним відновленням у реакторах ЕТШШ;
- експериментально доведена принципова можливість нанесення піровуглецевого покриття у ЕТШШ на моделі мікротвелу, які за своїми фізико-хімічними властивостями наближені до дисперсного ядерного палива

Набула подальшого розвитку методика розрахунку теплового балансу для проведення термохімічних процесів у типовому реакторі з ЕТШШ.

Оцінка висновків здобувача щодо значущості його праці для науки та практики

Результатом дисертаційної роботи Сімейка К.В. є розвиток теорії і методів використання електротермічного псевдозрідженого шару для проведення високотемпературних хімічних процесів з метою отримання нових, стратегічно важливих для економіки України, матеріалів.

На підставі отриманих результатів розроблено нові і модернізовані діючі конструкції технологічного обладнання високотемпературних агрегатів. Отримані результати роботи можуть бути застосовані для використання у хімічній промисловості, ядерній енергетиці, спецметалургії. Результати також можуть бути рекомендовані для широкого застосування в навчальному процесі.

Шляхи використання наукових та практичних результатів роботи і ступінь їх реалізації

Результати дисертаційної роботи, а саме - технології очищення природного графіту передані ТОВ «Заваліївський графітовий комбінат», технологія нанесення піровуглецевого покриття мікротвелу передані для використання «Таврійським Національним університетом ім. В.І. Вернадського для конструювання дослідного ядерного реактора з газовим теплоносієм.

Повнота викладу наукових положень в опублікованих працях.

Основні положення дисертації опубліковані у 38 друкованих працях, у тому числі 1 колективна монографія, 23 статті у наукових фахових журналах (2 у

міжнародній наукометричній базі Scopus, з них один відноситься до 1-го квартилю та 1 стаття у міжнародній наукометричній базі Web of Science), 9 тез доповідей на конференціях, одержано 5 патентів на корисну модель.

Опубліковані матеріали дисертації в достатній мірі висвітлюють результати досліджень, що виносяться на захист.

Оцінювання змісту роботи та відповідність її встановленим вимогам.

В цілому дисертація оформлена відповідає вимогам ДСТУ 3008-95 "Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення" та вимогам нормативних документів щодо оформлення дисертацій та авторефератів.

Роботу написано хорошою літературною мовою. Автор демонструє вміння стисло і логічно викладати суть проблеми, грамотно пояснювати запропоновані рішення. Дисертація складається із вступу, восьми розділів основної частини, висновків, додатків та списку використаних джерел. Основна частина дисертації представлена на 323 сторінках і містить 61 таблицю та 141 рисунок. Загальний обсяг роботи складає 391 сторінка, у тому числі 10 додатків і список використаних літературних джерел із 333 найменувань.

Апробація роботи

Основні положення дисертації доповідались та обговорювалися на 15 міжнародних конференціях та семінарах: 9th European Commissions Conference on EURATOM Research and Training in Safety of Reactor Systems: «FISA 2019» (4 – 7 June 2019 Pitesti, Romania); XV (13 – 15 листопада 2019 р.) та XIV (14 – 16 листопада 2018 р.) Міжнародних науково-технічних конференціях молодих вчених та фахівців: «Проблеми сучасної ядерної енергетики» (м. Харків); Школі–конференції молодих вчених: «Сучасне матеріалознавство: фізика, хімія, технології (СМФХТ –2019)» (27 – 31 травня 2019 р. м. Ужгород); Другій (25 – 27 квітня 2017 р.), Третій (25 – 27 квітня 2018 р.) та Четвертій (24 – 26 квітня 2019 р.) Міжнародній конференції: «Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» INUDEKO, (м. Славутич, Чорнобильська АЕС); International scientific and practical conference: «Prospects for the development of technical sciences in EU countries and Ukraine» (December 21 – 22, 2018, Wloclawek, Republic of Poland); Науковій конференції Інституту ядерних досліджень НАН України (8–12 квітня 2019 р. м. Київ); Четвертому (14 – 17 червня 2018 р.) та П'ятому (20 – 23 червня 2019 р.) Міжнародному молодіжному форумі Українського ядерного товариства (м. Нетішин, м. Острог, Хмельницька АЕС); семінарі відділення енергетичних систем, процесів та технологій Інституту тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова НАН Білорусі, (м. Мінськ); круглих столах

«Перспективи впровадження інновацій у атомній енергетиці України» (27 вересня 2019 р. та 28 вересня 2018 р. м. Київ), а також на наукових семінарах відділу термохімічних процесів і нанотехнологій Інституту газу НАН України, м. Київ.

Апробацій і публікацій достатньо.

Недоліки та зауваження до дисертації та автореферату.

1. У розділі 3 моделі мікротвелу вибираються за фізичними властивостями, а модельоване нанесення покриття відбувається шляхом хімічної взаємодії на поверхні частинок твердого матеріалу. Незрозумілим є принцип кореляції отриманих результатів на модельних частинках із матеріалом мікротвелу.

2. У 3 розділі наведені розрахунки з оксидами цирконію та бору, однак на далі експериментальних досліджень з цими розрахунками в дисертаційній роботі не наведено.

3. Висновки до розділу 3 ґрунтуються лише на розрахункових даних без експериментального підтвердження адекватності отриманих теоретичних розрахунків.

4. Методи досліджень наведені у розділі 2, а опис експериментальних установок - у розділі 4 дисертації, що створює певні незручності сприйняття інформації.

5. На с. 196 (розділ 5) наведено наступні фрази: «Порошкоподібний природний графіт є хорошим провідником і, завдяки цьому, він може бути розігрітий шляхом пропускання через нього електричного струму. Реалізація такого нагріву в ПШ по всьому об'єму має ряд переваг:

- підведення енергії відбувається безпосередньо в шарі забезпечує рівномірність температури по всьому об'єму шару;

- максимально досяжна температура обмежується лише термічною стійкістю матеріалів робочої зони і електродів.» На мою думку це загально відомі факти, тому дану інформацію слід занести у літературний огляд.

6. У роботі не наведено геометричних розмірів апарату ПШ, тому важко оцінити гідродинаміку процесу за витрати псевдозріджуючого агенту 0,2-0,3 м³/год.

7. У загальному в роботі на фоні чисельних експериментальних досліджень не виділено узагальнень, які власне і позиціонуються як основа для прийняття кінцевих технологічних рішень.

Вищевказані зауваження в цілому не знижують наукової і практичної цінності результатів дисертаційної роботи Сімейка К.В.

Висновок

Дисертаційна робота Сімейка Костянтина Віталійовича на тему «Науково-технологічні основи реалізації високотемпературних процесів у електротермічному псевдозрідженому шарі» відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 - процеси та обладнання хімічної технології. Дисертаційна робота є закінченим науковим дослідженням, присвяченим вирішенню актуальної народно – господарської проблеми. Отримані автором результати достовірні, виявлені факти та висновки обґрунтовані. Автореферат за структурою і змістом відповідає дисертації.

Результати наукових положень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію, не виносяться на захист його докторської дисертації.

Вважаю, що за своїм науковим рівнем робота відповідає вимогам п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – «Процеси та обладнання хімічної технології», а здобувач Сімейко Костянтин Віталійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за вказаною спеціальністю.

Офіційний опонент

Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри цивільної безпеки
НУ "Львівська політехніка",

О.А. Нагурський

Підпис О.А.Нагурського засвідчує
Вчений секретар НУ «Львівська
політехніка», доцент



Р.Б.Брилинський