

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд (PhD Thesis) за присъждане на образователната и научна степен **„доктор“** по професионално направление 5.13. „Общо инженерство“ - Технология за оползотворяване и третиране на отпадъците

Автор на дисертационния труд: **маг. инж. Димитър Борисов Борисов**

Тема на дисертационния труд: **„Определяне на технологичните възможности за минимизиране, оползотворяване и високотемпературно обезвреждане на промишлени отпадъци“**

Рецензент: **Проф. д-р Д-рХК (ХТМУ) Джон Патрик Робинсън**, член на Научното жури, назначено със заповед Р-ОХ-40/06.02.2015 г. на Ректора на ХТМУ – София.

1. Кратки биографични данни за кандидата

Инж. Димитър Борисов Борисов е роден през 1976 г. През 1999 г. е завършил Химикотехнологичен и металургичен университет (ХТМУ), София, Факултет по Химично и системно инженерство, катедра „Автоматизация на производството“ като магистър инженер по Информационни и управляващи технологии и автоматизация. През 2000 г. е завършил също Европейски магистърски курс по „Опазване на околната среда и устойчиво развитие“. Работи в ХТМУ от 2005 г. до сега като асистент в катедра „Програмиране и използване на компютърни системи“.

Инж. Д. Борисов е декларирал в своето CV научните си интереси в следните области: Екологични технологии в металургията; енергийна и екологична оптимизация на горивни процеси; изгаряне и пиролиза на опасни отпадъци; енергийна ефективност и оползотворяване на енергията от отпадъци; математично моделиране на пещни процеси; топло- и масо- предаване; информационни технологии и оптимизация на процеси.

2. Преглед на дисертационния труд и анализ на резултатите

Целта на настоящото изследване е разработването на методи и технологии за минимизиране, оползотворяване и високотемпературна обработка на промишлени отпадъци, генерирани по време на производствените операции в металургичната и химическата промишленост.

Основните задачи в дисертационния труд обхващат:

- Избор на метод за минимизиране на отпадъците в металургичната и химическата промишленост;

- Разработване на математически модел, който може да се използва за намаляване до минимум на количество твърди отпадъци, генерирани при металургични топлини процеси;
- Разработване на алгоритъм и софтуер за реализация на математическия модел;
- Верификация на математичния модел;
- Доказване на възможността за използване на модела за оптимизация и оперативното управление на процеса, за да се сведе до минимум количеството на отпадъците;
- Проучване на възможността за адаптиране на математическия модел за други специфични технологични процеси и операции.

Дисертационният труд е написан на 169 страници, включително 24 страници приложения, 24 таблици и 45 фигури и е организиран в четири глави, увод и обобщаващо заключение.

В Глава 1 е направен литературен анализ на проблема на дисертацията, в резултат на което са формулирани основните цели и задачи на дисертацията. Дискутирани са основните стратегии в управлението на отпадъци и са направени съответните заключения.

Литературният обзор и анализ се основава на 246 литературни източници, включително 5 източници в Интернет. От общия брой на литературните източници, 151 (62.7%) са публикувани след 2000 г. и 90 броя (37.3%), са публикувани преди 2000 г. На английски език са 233 източника и 8 са на кирилица.

Анализът на литературата е много изчерпателен, критичен и е изключително уместен и свързан с темата на дисертацията. Той обхваща историческото развитие и описание на подходите за решаване на проблема за управление на промишлените отпадъци, основните им насоки и предизвикателствата, които в момента съществуват. Значителна част от прегледа на литературата се фокусира върху съвременни нови стратегии за управление на промишлени отпадъци. Тези стратегии се основават главно на минимизиране на отпадъците, чрез най-добрите налични техники, които са разгледани критично и са анализирани.

На базата на обширното проучване на литературата, докторантът е формулирал изключително интелигентен и балансиран подход за осъществяване на целите на докторантската теза и задачите, за постигане на тези цели.

В Глава 2 се определят основните изисквания за формулиране и разработване на балансов математичен модел описващ конкретни свойства на технологичния процес. Съставен е и е реализиран моделиращ алгоритъм за решаване на поставените в дисертационния труд задачи. Анализирани и оценени са наличните към момента методи за минимизиране на високо температурно получаване на шлаки от топлини металургични процеси.

Формулирани са основните физични и химични параметри за изчисляване на необходимите материални и топлинни баланси на възможните реакции при процеса на факелно топене на сулфидни медни концентрати. Тези оригинални формулировки са заложили като база на алгоритъма, който развива и обхваща минимизирането и високотемпературното оползотворяване на производствени

отпадъци. Те също определят избора на метода на Гаусова елиминация, като математическа основа за решаването на системата от независими балансови уравнения, формиращи математичния модел.

За програмна среда за разработването на математичния модел е избран комерсиалния софтуерен продукт „Maple“.

В Глава 3 е разработена блок-схема, описваща общата структура на математически модел за минимизиране, оползотворяване и високотемпературно обезвреждане. Създаден е оригинален изчислителен модел, базиран на физико-химичните свойства на системата Cu-Fe-S, като на базата на масовите концентрации на елементите в системата са определени и изчислени възможните фази в сулфидните медни концентрати и руди.

Изведени са и са решени уравненията за материален баланс на компонентите, включени в основните физико-химични превръщания при окисляването и топенето на сулфидни медни концентрати (сулфидни руди) във факелна топилна пещ.

Формулирани са пет специфични системи на независимите балансови линейни уравнения, в зависимост от състава на сулфидните концентрати (медни руди). Използван е метод на Гаус за решаване на формулираните системи балансови уравнения. Изведени и решени са уравненията на газовата фаза, включващи изгарянето на допълнително въглеродно гориво. Определени са всички компоненти и техните количества преминаващи от твърдата в газовата фаза.

Разработена е блок-схема и съответна програмна реализация на алгоритъма за фазовото разпределение на съдържащите се в шихтата Cu, Fe и S.

Създаден е аналитичен математичен модел на цялостния процес на факелно топене на сулфидни медни концентрати на базата на аналитични зависимости и последващо създаване на няколко опростени модели за целите на оптимизацията и оперативното управление.

В Глава 4 са представени възможностите на модела за получаване на резултати, които позволяват намаляване на количеството на отпадъчна шлака чрез промяна на състава на вложените изходни материали, както и за използване на нестандартни суровини, като например отпадъци от мини и производство на въглища, производството на електрическа енергия и други промишлени източници.

За да се улесни изчислителна процедура за нуждите на оперативното управление на технологичния процес, предложени в Глава 3 аналитичен модел е апроксимиран чрез провеждане на числени експерименти, проведени върху ограничени области в системата "състав - свойство" симплекс диаграми. Използван е метода на Мак Лийн и Андерсен за изследване на системата Cu - Fe - S. Предложени и са изследвани три експериментални планове за различни състави на системата Cu - Fe - S. Избран е моделът с най-добра апроксимация.

Съставени са графични зависимости за „бърза“ оценка на очакваните количества на щейн и на отпадъчната шлака, при различни състави на шихтовите концентрати Cu - Fe - S на входа на процеса.

Представени са Парето-оптимални решения за влаганите шихтови материали, за които се постигат едновременно минимални количества отпадъчна шлака и максимални количества меден щейн.

Всяка глава съдържа обобщени изводи от работата, описана в главата. Заключение на дисертационния труд включва обобщени изводи, научни и научно-приложни приноси. Разгледани са и някои препоръки за по-следваща изследователска дейност.

В тази дисертация, кандидатът за докторска степен е показал изключителна широта и дълбочина на научно-техническите познания в интердисциплинарно проучване, което обхваща опазването на околната среда, устойчивото развитие, физикохимията и неорганична химия, термодинамиката, металургията, икономика, математика и високо ниво на компютърно програмиране. Докторантът е съчетал своите дълбоки интердисциплинарни умения в прилагането на актуални подходи за създаване на алгоритми, математическо моделиране, параметрично оценяване, планиране на числени експерименти, методи за оптимизация и методите за вземане на оптимално решение при сложни и важни технически проблеми, свързани с минимизиране на отпадъците, при максимална производителност, каквито са факелните топилни процеси на сулфидни концентрати (руди).

Представените заключения в дисертационната теза, ми позволяват да заявя със сигурност, че първоначалните цели и задачи в дисертационния труд са напълно постигнати и в действителност значително надхвърлят заложените. В тезата, кандидатът за докторска степен е предложил и разработил систематичен, методичен подход за характеризирание и оценка на процеса на факелно топене на сулфидни суровини с минимизиране на количеството на отпадъчна шлака и същевременно осигуряване на подходящ температурен режим за високотемпературно обезвреждане на промишлени отпадъци, генерирани в металургията и химическата промишленост.

Дисертационният труд е изключително добре написан и илюстриран и е много информативен. Списъкът с означения е доста подробен, както и списъците с таблици и фигурите.

По мое мнение, научната и технологичната работа в дисертацията е от най-високо качество. Самата дисертационна теза също е изготвена в съответствие с най-високите международни стандарти, и по мое мнение ще предостави ценна основа за важна бъдещи изследвания и технологични развития.

3. Оценка за съответствие между автореферата и дисертацията

Представеният на 50 стр. Автореферат е подробен, много информативен и напълно отразява съдържанието на дисертационния труд.

4. Характеристика и оценка на научните приноси на дисертацията

Тази дисертация има важен научен принос към разбирането на сложни химични и физични процеси в особено сложна среда. При разглеждането на такъв сложен проблем, кандидатът е представил работа, която е пример за това, какво може да се постигне, когато има интердисциплинарно разбиране на физичните и химичните характеристики, когато един екологичен проблем е съчетан с високо ниво на математически и компютърни умения. Този подход има потенциал да се обобщи и да се прилага към широк спектър от промишлени и естествени среди.

Дисертационната работата има значително приложно значение в металургичната и химическата промишленост, както в моделирането на технологичните процеси, така и в управлението на отпадъците. Чрез осигуряване на опростени, но точни апроксимационни модели за предсказване образуването на отпадъци, при

управлението на процесите, се получава мощен инструмент за улесняване на управлението в химическата и металургичната промишленост, което подпомага усилията за опазване на околната среда. Отново ми се струва, че подходът, използван в дисертацията има потенциал да се развива в продължение на много по-широко приложение.

(а) Научни приноси

- (1) Представено е математическо описание на сложни физични и химични трансформации, протичащи с високотемпературните топилни процеси. Общия математически модел включва над 180 физически и химически величини, включващи материали и енергийни баланси, химически равновесия и скорости на химически реакции.
- (2) Математическият модел е алгоритмизиран с цел програмна реализация на аналитичния математически модел с помощта на програмната среда на софтуерния продукт "Maple".
- (3) Основните изчислителни модули на програмата са:
 - Определяне на разпределението на фазите на компонентите в шихтата за широк диапазон от концентрации на компонентите;
 - Оценка на количеството на първичното гориво, необходимо за осигуряване на необходимата температура на топене чрез изчисляването на топлинния баланс на факелната топилна пещ;
 - Изчисляване на масовите потоци на фазите на щейн и на отпадъчната шлака, както и дебита и състава на газовата фаза.
- (4) Реализиран е алгоритъм, използващ метод на Гаусова елиминация за решаване на системата независими балансови уравнения, получени от модела.
- (5) Моделът може да се използва за прогнозиране на количествата твърди отпадъци "шлака" и продукти - "щейн", образувани при в процеса на факелно топене на сулфидни медни руди (концентрати). Количествата на шлака и щейна могат да бъдат изчисление от масови съотношения на мед, желязо и сяра в първоначалния шихтов материал, въвеждан в топилния агрегат. Моделът може да се използва за предсказване на влиянието върху количеството шлака и щейн при добавянето на някои промишлени отпадъци в шихтата.
- (6) Важно приложение на модела е, използването му за свеждане до минимум на промишлени отпадъци, образувани се при процеса на топене на сулфидни медни концентрати. Представени са пет примерни системи от независими балансови уравнения за определени на съотношения на мед, желязо и сяра във входящия шихтов поток.
- (7) Разработен е апроксимиран математически (short cut) модел за прогнозиране на условията за минимизиране на отпадъчната шлака. Този модел е проверен чрез провеждане на виртуални числени експерименти с използване на ограничено факторно пространство, като е приложен за практическия диапазон от $10 \leq \text{Cu} \leq 35$; $15 \leq \text{Fe} \leq 45$; $10 \leq \text{S} \leq 40$ (мас.%).

(b) Приложни приноси

- (1) Въз основа на комплексен модел на реакциите на процеса на факелно топене е съставен приблизителен софтуерен математичен модел. Апроксимационният модел е ценен, практичен инструмент, който може да

се използва като съветник на оператора за предсказване на количествата образувани щейнов продукт и отпадъчна шлака, на базата на процентни съотношения на Cu - Fe - S в постъпващия шихтов поток. Този принос има голямо значение за ефективността на производството и намаляване на твърдите отпадъци в топилната индустрия чрез осигуряване на удобен метод за оптимизиране на продукта и свеждане до минимум на шлаката. Свеждането до минимум на отпадъците е в съответствие с йерархията на ЕС за управление на отпадъците.

- (2) Подробните, всеобхватни изчисления на енталпията на реакционните и енергийни баланси в аналитичния модел на процеса на факелно топене, може да се използват за предвиждане на влиянието при третиране на някои отпадъци от химични и топилни процеси, чрез включването им в горивната камера. Това представлява мощен, практичен инструмент за третиране на отпадъци и също може да допринесе за намаляване на въглеродната следа на процеса на топене.
- (3) Съставени са графични зависимости за „бърза оценка“ на очакваното количество на отпадъчната шлака и получавания целеви продукт (щейн) за различни комбинации на Cu - Fe - S в входящите суровинни материали.

5. Анализ на публикациите по дисертационния труд

По дисертационния труд, до сега, са направени 5 публикации, съвместно с научните ръководители на дисертанта. Две статии са публикувани в научни журналы на английски език. Една е в International Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol.38, No. 3, (2007) и втората е в Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 49, 1, (2014). Три публикации са доклади на международни конференции, представени в сборници. Една е на български език и две са на английски език.

6. Критични бележки, коментари и препоръки за по-нататъшна работа

По мое мнение, това е един отличен пример за това, какво може да се постигне чрез интердисциплинарен подход към един практически проблем, който се основава на дълбоко разбиране на химическите и физическите науки. Тезисът предвижда цялостен модел на серията от сложни химични реакции и термодинамични и фазови преходи, които протичат в топилната среда. Този комплексен модел е превърнат в практически инструменти за приложение в промишлеността.

Имам няколко въпроса, които възникнаха при четенето на дисертацията:

- (1) Дали числения и апроксимационния модел са проверени с реални данни от промишления агрегат?
- (2) Възможно ли е да се включи в модела информация, как присъствието на други метални компоненти във входящия шихтов поток се разпределят между шлаката и щейна?
- (3) Може ли концентрацията на серен диоксид в изходящия газов поток да бъде получени от аналитичния модел?
- (4) Какви видове отпадъчни материали от химическата и металургичната промишленост може да се добавят, с цел замяна на изкопаемите горива? Как това би променило въглеродната следа на процеса на топене?

(5) Възможно ли е да се използва аналитичният модел като платформа за разработване на подобни програми за управление на други промишлени отпадъци? Ако това е така, какви възможни приложения, кандидатът може да препоръча?

7. Лични впечатления от докторанта

Познавам кандидата лично от 2000 г., когато беше студент в Европейския магистърски курс в ХТМУ. Аз водя лекции по два модула в курса и освен това съм член на изпитна комисия на курса. Спомням си, че представената дипломна работа и защитата на магистърската теза впечатлиха изпитната комисия и тя получи отлична оценка.

Според мен, кандидатът за докторска степен Д. Борисов е изключително способен млад учен с голям потенциал. Той има необичайно широко познаване и разбиране в областите на химията, физиката и биохимията. Освен това неговите умения в областта на информационните технологии и компютърното моделиране, го снабдяват с множество от ценни умения, които са рядко срещани в един човек.

Убеждавам се, че кандидатът е интелигентен, изключително представителен и полезен в решаване на практически задачи, свързани с използването на компютри.

8. Заключение

Както вече споменах в разделите по-горе, тази Докторска дисертация е от много високо международно качество, както от научна, така и от приложна гледна точка. Предметът е от екологично и промишлено значение и е значима както за теорията, така и за практиката. Тезата има значителни научни и приложни приноси по отношение на разбиране на един важен инструмент на знанието и напълно съответства на изискванията на българското законодателство за развитието на академичния състав и на Правилника за прилагане на Закона за придобиване на научни степени и научни длъжности. Докторантът доказва собствените си способности за провеждане на теоретични и практически изследвания за решаване на сложни проблеми чрез прилагане на съвременни методи и инструментариум. Всички необходими образователни изисквания са изпълнени от докторанта.

Аз нямам никакви притеснения да препоръчам следното:

Научното жури да присъди на инж. Димитър Борисов Борисов образователната и научна степен „Доктор” (PhD степен).

Дата: 25 февруари 2015 г.

Рецензент: /п/

(Prof. Dr. J. P. Robinson)