

РЕЦЕНЗИЯ

от доц. д-р инж. Борис Стоилов Стефанов

върху дисертационния труд на тема:

„Промислено оползотворяване на биомаса за енергетични цели”

с автор инж. Надежда Делчева Казакова

за придобиване на образователната и научна степен „доктор”

по научната специалност 5.9. Металургия

(Металургична топлотехника)

1. Кратки биографични данни и характеристика на научните интереси на дисертанта

Инж. Надежда Казакова получава висше образование в ХТМУ като бакалавър в специалност Органични химични технологии, катедра „Органичен синтез и горива”, направление Горива. През 2009г. завършва магистърска специалност „Природни и синтетични горива”, а през 2011г. завършва втора магистърска специалност „Енергийна и екологична ефективност” в катедра „Физична металургия и топлинни агрегати”. От 2012г. до 2016г. тя е редовен докторант в същата катедра.

Работила е като лаборант и научен сътрудник в БАН, Институт по органична химия с център по фитохимия, както и във фирма „Аркадия Хебра” ЕООД.

2. Преглед на дисертационния труд и анализ на резултатите

Осигуряването на чиста, устойчива и достъпна доставка на енергия е основно глобално предизвикателство за 21-ви век. Търсенето на нови източници на енергия в развитите и развиващите се страни продължава да расте, като традиционните доставки на невъзобновяеми енергийни източници стават все по-несигурни. Зависимостта от изкопаеми горива продължава да заплашва глобалния климат и пречи на прехода към по-устойчиви енергийни източници. Създалата се ситуация показва, че е наложително да се вземат мерки за насърчаване на

развитието на възобновяема, чиста енергия, както и да се стимулира по-голяма ефективност при използването на традиционните изкопаеми и ядрени горива.

В глава 1 на дисертацията са разгледани възможните тенденции в развитието на енергийните източници и тяхното значение за осигуряването на устойчив икономически, социален и екологичен просперитет. Направена е оценка на предимствата на възобновяемите енергийни източници. Представени са статистически данни относно дялът на възобновяемата енергия в брутното крайно потребление на енергия. В България този дял е по-висок от средния за ЕС (14% за ЕС и 18% за България), но преди всичко в резултат на битовото изгаряне на дърва.

В тази глава са систематизирани предимствата и недостатъците на различните видове биомаса, както и методите за тяхното ефикасно оползотворяване.

Направеният по-горе анализ показва, че от практическа гледна точка поради интензивните процеси, е изгодно биомасата да се конвертира по термичен път, а от видовете термично третиране по подходящо е да използваме газификацията, като процес с по-добри екологични, социални и икономически показатели и по-висок коефициент на полезно действие.

Основната цел на настоящата дисертационна работа е да бъдат определени физичните и режимни параметри на процеса на газификация на дървесна биомаса.

За постигане на поставената цел при провеждане на детайлно изследване на процесите на газификация е прието да бъдат разработени и числено реализирани:

- Термодинамичен равновесен модел с помощта на който да бъде определено количеството топлина, необходимо за протичане на процеса на газификация при различни температури, вида газификация и еквивалентното съотношение между горивото и подавания за газификацията въздух, както и тяхното влияние върху състава и топлотворната способност на получените газове.

- Кинетичен модел на процеса на газификация, който да бъде използван за проследяване на механизма на реакциите, протичащи в реактора и изчисляване на температурата и относителната концентрация на отделните компоненти в обема, и на повърхността на частицата дървесна биомаса в зависимост от времето на престой на различните по размер частици в горивната камера.

В глава 2 на дисертационната работа са разгледани термохимичните технологии за оползотворяване на биомаса. Разгледани са физикохимичните етапи на процеса на газификация на дървесна биомаса, специално внимание е отделено на процеса на пиролиза и възможностите за оползотворяване или предотвратяване на образуването на продуктите на пиролиза. Въз основа на литературни източници е определено влиянието на условията на работа на газификаторите (температура, налягане, газифицираща среда, време на престой, използване на катализатори за намаляване на количеството на остатъчните катрани от процеса на газификация). Разгледани са технологичните особености и условията за работа на различни конструкции газификатори, използвани в съвременната практика.

В глава 3 на дисертацията е проведено изследване на възможностите за моделиране на процеса на газификация на дървесна биомаса.

Реализирането на интелигентно управление на системите за газификация изисква да се познава влиянието и по възможност да се управлява всеки един от технологичните параметри. Тази дейност е изключително затруднена поради сложността и взаимното влияние на съвместно протичащите физикохимични, хидродинамични и преносни процеси и трудоемкостта на експериментите, свързани с разхода на много средства.

Математичните модели, съставени на базата на основните закономерности, описващи протичащите процеси, дават най-точен отговор на въпросите, свързани с оценка на параметрите на състоянието на технологичната система и получаваните резултати са от съществено значение за ефективното управление на конкретния агрегат и протичащия в него технологичен процес.

Това определя мястото на математичното моделиране като един от най-прогресивните методи и задължителен етап на един комплексен подход за проектиране, изследване и усъвършенстване на технологичните процеси при създаване на високотехнологично оборудване и системи за управление с използване на възможностите, които предоставя съвременното състояние на изчислителната техника.

Термодинамичният равновесен модел предсказва максималния възможен добив на желания продукт от реагиращата система. Добивът и съставът на продукта в това състояние се дава от равновесния модел, който се отнася до

протичащите реакции, без да се вземе предвид геометрията на газификаторът. На практика времето за протичане на реакциите е ограничено. Ако газификатора се конструира така, че да има достатъчно време за протичане на реакциите, равновесния модел може да даде идеална оценка.

За практически приложения, ние трябва да използваме и кинетичния модел, за да се отчете времето на протичане на реакциите. Кинетичният модел изучава механизма на реакциите, които се извършват в реактора. Също така той дава възможност за оценка на степента на превръщането на отделните продукти на процесите в различните зони на газификатора. Той взема предвид геометрията на реактора, както и хидродинамиката в работното му пространство.

CFD модели се свеждат до едновременното решаване на набор от уравнения за съхранение на маса, импулс, енергия и параметрите на турбулентния поток в обема на газификатора. По този начин те дават разпределение на температурата, концентрацията и други параметри в рамките на обема на реактора. Ако хидродинамиката в реактора е добре известна, CFD модела дава много точни прогнози на температурата и добива на газ в реактора.

Анализът на невронни мрежи е сравнително нов симулационен инструмент за моделиране на газификатора. Той работи, като опитен оператор, който използва многогодишния си опит да предскаже как ще се държи газификатора в определени условия. Този подход изисква предварително познание за процеса. Невронната мрежа се обучава сама в хода на експлоатация на инсталацията.

Анализът на съществуващите стехиометрични модели показва, че те не могат да се използват пряко за изчисления, тъй като по правило различните изследователи не публикуват важни подробности, а много често моделите не отчитат цялото многообразие на съвместно протичащите процеси. Това не позволява директното използване на тези модели и получаваните от тях резултати. Поради тази причина е разработен термодинамичен модел на процеса на газификация, който включва материален и енергичен баланс на системата. За реализация на математичния модел е разработен изчислителен алгоритъм, който е програмно реализиран. С помощта на програмно реализирания алгоритъм са проведени симулационни изчисления за определяне на работните параметри на процеса.

Материалният баланс в разработения математичен модел включва баланса на различните участващи в процеса на газификация елементи: C, H₂, O₂ и N₂ от въздуха. При газификацията на биомаса се получават следните крайни елементи: H₂, водни пари, CO, CO₂, N₂, CH₄ и твърд въглероден остатък. За определяне количеството на тези елементи е необходимо съставянето на 7 уравнения.

Описаният по-горе модел на газификацията беше програмно реализиран и с негова помощ са проведени симулационни изследвания при различни стойности на параметрите за оценка на неговата ефективност. За целта е разработен алгоритъм на двустепенна газификация, който е програмно реализиран. Моделът отчита:

- подгряването на биомасата – въвеждане на топлина в първата степен на газификатора;
- подгряване на въздухът използван за газификацията;
- промяна на температурата на газа след първата степен на процеса газификация.

Първоначално са проведени изчисления, за определяне на състава и количеството на получения газ, при условията на пиролиза в първата степен на газификатора (ER) = 0 при температура на пиролизата съответно 500, 600, 700, 800 и 900 °C. Определена е калоричността на получения газ, както и топлината, която е необходимо да се въведе в системата, за да протече процеса на пиролиза. Симулационните изследвания включваха и промяна на следните режимни параметри:

- температурата на въздуха за газификацията беше задавана 20, 100, 200, 300, 400 и 500°C;
- за въвеждане на топлина в първата степен на газификатора: 0, 500, 1000 и 1500kJ/kg;
- температурата в първата степен на газификатора: 600, 700 и 800°C;
- температурата във втората степен на газификатора е зададена 1200°C.

Анализът на получените резултати, показва, че за реализиране на двустепенен режим на газификация, осигуряващ нагряване до 1200°C, които са необходими за термичния крекинг на кондезиращите газове във втората степен и 4500 kJ/m³ калоричност на получения газ, е необходимо въвеждането на

допълнително количество топлина в първата степен на газификатора. Подгряването на въздуха, също подпомага процеса на газификация, въвеждайки допълнително количество топлина, но само тя не е достатъчна, поради малкото количество на въздуха, необходим за газификацията.

За провеждането на по-подробни изследвания на процесите на газификация на растителна биомаса е разработен многоетапен кинетичен модел, отчитащ газификацията на трите основни компонента на биомасата - целулоза, хемицелулоза и лигнин. Той дава сравнително подробна информация за количествата на продуктите на пиролиза: газ, катран и твърд остатък.

За отчитане на кинетиката на процеса на пиролиза на биомаса се решава системата от уравнения на: материалния баланс, движението на получените газове в твърдото тяло, енергийния баланс и кинетиката на химичните реакции на разлагането на първичната биомаса.

За числената реализация е разработен алгоритъм за изчисляване на пиролизата на биомаса, включващ следната последователност от операции:

- Задаване на начални условия за всички зависими променливи. Началните данни са взети от литература. Определят се параметрите на изчислителната мрежа и дискретизацията във времето;
- Решаване на уравненията за степента на пиролиза на биомаса на трите основни компонента на биомасата - целулоза, хемицелулоза и лигнин при зададена температура. Определя се скоростта на възникване на продуктите на пиролизата: газ, катран и твърд остатък. Всички реакции са моделирани с помощта на уравнението на Арениус;
- За решаване на уравненията за определяне на налягането на компонентите на газовата фаза за отделните слоеве на изчислителната мрежа, се използва неявна итерационна схема до достигане на сходимост във всички възли от изчислителната мрежа (вътрешен итерационен цикъл). В качеството на критерий за сходимост, се приема разликата между всички променливи за две последователни итерации, да не надвишава предварително зададената стойност;
- Определяне на скоростите на газовата фаза във всеки слой на изчислителната мрежа;

- Изчисляване на топлината, която се изразходва за ендотермичните реакции;
- Изчисляване на топлината, която се пренася с газовата фаза;
- Изчисляване на температурата и относителната концентрация на отделните компоненти;
- Получените стойности на зависимите променливи се приемат за изходни и процедурата се повтаря за следващия интервал от време до достигане на зададеното време за пиролиза.

С помощта на описания и програмно реализиран модел са проведени изчисления на процеса на газификация на единична сферична частица от дървесна биомаса. При тези изчисления са въведени следните параметри:

- Диаметрите на сферичните частици от биомаса са: 10, 20, 30 и 40 mm.
- Температурата в апарата за пиролиза е: 500, 600, 700 и 800 oC.

Времето за нагряване на сферичните частици се определя от следните условия:

- Температурата на повърхността и центъра на сферичните частици да остава постоянна във времето.
- Концентрацията на продуктите на пиролиза да остава постоянна във времето.

3. Оценка на съответствието между автореферата и дисертационния труд

Авторефератът отговаря напълно по съдържание на работата на инж. Казакова. Написан е стегнато, дава само най-нужната информация, за да подготви читателя за правилно възприемане на извършеното от автора на дисертацията и за тълкуване на постигнатите резултати от неговите изследвания.

4. Характеристика и оценка на приносите в дисертационния труд

Приносите в дисертационния труд могат да бъдат обобщени по следния начин:

- Разработен е термодинамичен равновесен модел за двустепенен режим на газификация на биомаса, включващ материален баланс на отделните компоненти на биомасата и енергиен баланс на системата. С негова помощ се изчислява количеството топлина, необходимо за протичане на процеса. При условие, че тази топлина се получава за сметка на изгаряне на част от горивото, могат да се определят еквивалентното съотношение на биомасата към газифициращия агент, и съставът, и количеството на получения газ.
- Съставен е кинетичен модел на газификацията на биомаса, на сферична частица който включва:
 - определяне на скоростта на възникване и степента на пиролиза на продуктите на пиролизата - газ, катран и твърд остатък за трите основни компонента на биомасата - целулоза, хемицелулоза и лигнин;
 - определяне на налягането на компонентите на газовата фаза в обема на частицата;
 - определяне на скоростта на газовата фаза в обема на частицата и нейната повърхност;
 - изчисляване на топлината, която се изразходва за ендотермичните реакции;
 - изчисляване на топлината, която се пренася с газовата фаза;
 - изчисляване на температурата и относителната концентрация на отделните компоненти;
 - модел на вторичен крекинг на кондензиращите газове на газовата фаза.

Моделът за вторичния крекинг на кондензиращите компоненти на газовата фаза (катрана), който е част от кинетичния модел включва следните етапи:

- вторичното разлагане на кондензиращите газове, формиращи катрана;
- оценка на влиянието на температурата и времето на престой в работната камера, върху степента на вторичното разлагане на

катрана, чрез разработена за целта програма на базата на кинетичното уравнение, описващо процеса.

5. Мнение за публикациите на инж. Казакова по темата на дисертационния труд

По дисертационния труд са представени три публикации, от които две представляват статии в реферирано списание. Докладите от научни конференции и семинари, в които е участвала докторантката не са представени. В публикациите са представени част от резултатите на дисертационния труд.

6. Критични бележки и коментари

Ще си позволя да направя някои уточняващи коментари по резултатите на дисертационния труд.

Резултатите от първоначално проведените изчисления за определяне на състава и количеството на получаваните газове от пиролизата в първата степен на газификация при различни температури са представени на фиг. 3.3. В съответствие с очакванията съдържанието на CO и H_2 нараства, а концентрациите на CO_2 , H_2O и CH_4 намаляват при повишаване на температурата на процеса, като достигат стойности около 1 об.% при 900 °C. Концентрациите на CO и H_2 достигат стойности съответно над 45 об.% и над 50 об.%. Би било прекалено оптимистично да се предположи, че е възможно да се получи горивен газ с толкова високи съдържания на CO и H_2 .

Резултатите от изчисляване на калоричността на получавания газ и количеството топлина, която е необходимо да се въведе в системата при различни температури на процеса са представени на фиг. 3.4. В обяснителния текст към фигурата се потвърждава, че с повишаване на температурата на газификация, калоричността на горивния газ и топлината за покриване на загубите се увеличават. Както се вижда от фигурата, калоричността на газовете първоначално намалява своята стойност при повишаване на температурата на пиролиза от 500 °C до 600 °C, след което се установява незначително повишение на тази величина. Освен това от фиг.3.4 следва, че при 500 °C се получават газове с най-висока калоричност, което не съответства с резултатите, обобщени на фиг. 3.3. От тази

фигура се вижда, че при тази температура (500 °C) концентрацията на CO и H₂ в газове е най-ниска и стойността на C_{тв} е най-високо.

В уравнение 3.43. (стр. 100) за изчисляване на LHVg коефициентите пред V_{CO}, V_{CH₄} и V_{H₂} са в MJ/Nm³ от съответния газ. А самите обеми на горивните газове са в Nm³/kg, както се вижда от означенията към дисертацията. Очевидно дименсията на LHVg в това уравнение не може да се получи в kJ/m³, както е написано на стр.100.

В таблица 3.4. е дадена величината LHVg с дименсия kJ/kg. Очевидно тази величина не е долната специфична топлина на изгаряне на получавания горивен газ, а е величина, която характеризира долната специфична топлина на газа, Величината с дименсия kJ/kg може би е трябвало да се означи по друг начин и да се дефинира в означенията.

При използване на уравнение 3.43 и съответните данни от таблица 3.4 за изчисляване на величината LHVg, може да се потвърди направения в дисертацията извод за влиянието на температурата на газификация, върху калоричността на получавания газ. За целта е необходима корекция на съответната крива на фиг. 3.4.

7. Лични впечатления от дисертанта

Инж. Казакова се обучава във факултета по Металургия и материалознание на ХТМУ в продължение на 6 години. През това време тя прояви трудолюбие, отговорно отношение към всяка поставена и задача, настойчивост, желание за развитие и усъвършенстване. Това са качества, с които дисертантката заслужи симпатиите и уважението на своите преподаватели и колеги.

8. Заключение

Предоставената ми за рецензиране дисертация на тема „Промислено оползотворяване на биомаса за енергетични цели” с автор инж. Надежда Казакова, за придобиване на образователната и научна степен „доктор” по научната специалност 5.9. Металургия (Металургична топлотехника) представлява една актуално подбрана и добре планирана, изпълнена и написана работа. Тя притежава всички необходими качества за такъв труд. Тези

преимущества на работата, както и изброените положителни страни на нейния автор инж. Надежда Делчева Казакова, ми позволяват твърдя, че тя трябва да бъде подкрепена, поради което давам положителна оценка на представения дисертационен труд.

22.04.2016 год.

Изготвил рецензията:



(доц. д-р инж. Борис Стефанов)