

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Бутенко Олександра Валерійовича
«Автоматизована система керування установкою піролізу на основі
ідентифікації складу твердих побутових відходів»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Актуальність теми.

Процес піролізу використовується для переробки твердих побутових відходів (ТПВ) вже протягом тривалого часу. Але більша частина одержуваних продуктів знаходиться в газовій фазі, тому вони мають бути використані відразу після утворення.

Різний склад ТПВ веде до зміни складу одержуваних продуктів. Визначальним фактором, що впливає на кількісне співвідношення речовин в суміші продуктів реакції, є вологість ТПВ.

Процес піролізу вважається переважним при переробці ТПВ з метою отримання вторинних енергоресурсів. Як показують теоретичні і експериментальні дослідження, із зростанням температури процесу збільшується вихід горючої газоподібної фази. При високій температурі ($\sim 1500^{\circ}\text{C}$) і наявності необхідної кількості водяної пари маса вуглистою залишку і конденсованої фази може бути зведена до мінімуму.

Об'єднання технології піролізу, побудованої на основі методу газифікації в нададіабатичному режимі, з методом визначення в режимі реального часу складу продукт-газ створює можливість автоматизувати процес переробки ТПВ. Автоматизація такого процесу піролізу дозволяє виключити з технологічного ланцюжка стадію синтезу рідких горючих речовин для їх зберігання.

Наразі немає єдиного методу автоматизованого керування процесом спалювання ТПВ невідомого складу. Використання будь-яких видів екстремальних регуляторів має загальний недолік, що залежить від виду екстремальної характеристики. Велика частина розрахунків параметрів процесів горіння виконується на основі методів хімічної кінетики через визначення наведеної формули суміші як окремої речовини. При використанні такого підходу для розгляду процесу горіння суміші газів розраховується ентальпія і визначається брутто-формула. Така задача є оберненою і некоректно поставленою.

Не існує єдиного методу розв'язання всього різноманіття обернених, некоректно поставлених задач. Кожен їх вид вимагає індивідуального підходу, що призводить до необхідності розробки нового методу розв'язання оберненої та некоректно поставленої задачі для вирішення проблеми автоматизованого керування процесу піролізу ТПВ.

Необхідність удосконалення моделей і методів АСК енергетичною установкою піролізу для термічної утилізації ТПВ через ідентифікацію їх складу при нададіабатичному розкладанні для отримання газу максимальної теплотворної здатності, за рахунок розв'язання оберненої і некоректно поставленої зада-

чі пошуку найкращого рішення при термічній утилізації ТПВ і визначає актуальність даної роботи.

Актуальність теми також підтверджується тісним зв'язком проведених здобувачем досліджень з Програмою поводження з твердими побутовими відходами, яку затверджено постановою КМУ від 4.03.2004 р. за № 265 та Загальнодержавною програмою поводження з відходами на 2013–2020 роки, яку затверджено постановою КМУ від 3.01.2013 р. № 22-р. Ці дослідження виконано в Одеському національному політехнічному університеті.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі, їх новизна.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Бутенка О.В. є достатньо високим й базується на детальному аналізі літературних джерел за обраною проблемою, накопиченому практичному досвіді керування енергетичними об'єктами, статистичних даних в Україні та в світовій практиці, гармонійному поєднанні мети та задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, якісному формулюванні отриманих висновків.

Ступінь обґрунтованості наукових положень доведено і завданнями дослідження, а саме:

- аналізом забруднення навколишнього середовища ТПВ, що утворилось, технологій їх термічної утилізації, автоматизованих систем керування такими технологіями;

- ідентифікацією складу та класифікацією ТПВ за ознаками, отриманими при його моделюванні умовною брутто-формулою та виявленням речовин, що утворюють «кислі гази» і, як наслідок, запропонуванням схеми термічної переробки відходів установкою піролізу;

- пошуком методу розв'язання оберненої і некоректно поставленої задачі з визначення складу ТПВ, що утилізується в установці піролізу з метою отримання продукт-газу максимальної теплотворної здатності;

- розробкою методу проведення керованого піролізу для утилізації ТПВ при нагрітій адіабатичному розкладанні та імітаційної моделі автоматизованої системи керування, що дасть змогу отримати продукт-газ максимальної теплотворної здатності.

Теоретичні дослідження виконано з використанням сучасного математичного апарату, класичних положень теорії автоматичного керування, теорії диференціальних рівнянь, імітаційного моделювання, фізико-хімічних явищ, що мають місце при автоматизованому керуванні енергетичними об'єктами.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступні:

- вперше представлено склад ТПВ в модельному уявленні їх умовною брутто-формулою, що дало змогу ідентифікувати та класифікувати ТПВ по групах за ознакою, якою стала кількість атомів хімічних елементів в умовній

формулі: перша група CH_m , — вуглеводневі; друга група CH_nO_f , — вуглеводневі ті, що містять кисень; третя група $\text{CH}_w\text{O}_q\text{N}_k$, — вуглеводневі ті, що містять кисень та азот; четверта група CH_aF_x , CH_bCl_y , CH_dS_z — вуглеводневі ті, що містять активні елементи, що утворюють «кислі гази»;

— вперше запропоновано метод розв'язання оберненої і некоректно поставленої задачі як складного завдання інтерпретації з визначення складу ТПВ, що утилізується в установці піролізу. Для цього розроблено метод заповнення «бібліотеки» розв'язками прямої задачі, що дозволило вихідні дані прямої задачі (кількість атомів хімічних елементів в брутто-формулі ТПВ і їх ентальпію) записати в число-згортку, яке формується на основі позиційного принципу запису десяткових чисел, що і забезпечило формування тривимірної масиви з врахуванням послідовного виділення областей збігу даних і обмежень, що, в свою чергу, дало можливість отримати розв'язок задачі у вигляді брутто-формули продукт-газу максимальної теплотворної здатності;

— знайшла подальший розвиток імітаційна модель АСК піролізною установкою, яка існуючі рішення моделі об'єкта керування, такі як витрати рециркуляційного продукт-газу та мінімальну кількість додаткового повітря і високу вологість ТПВ, використовує для розрахунку регульованих параметрів (рівень рідини в газгольдері; витрата продукт-газу; температура протікання піролізу; склад продукт-газу) та керуючих впливів АСР (витрата ТПВ; витрата повітря; витрата рециркуляції продукт-газу) для компенсації зовнішніх збурень (задана витрата продукт-газу; склад ТПВ), що робить можливим проведення керованого піролізу в нагрітій режимі, що уможливило знайти сталі рішення для будь якого співвідношення «зовнішні збурення – керуючі впливи АСР», що дозволяє отримувати продукт-газ з максимальною теплотворною здатністю при мінімальній кількості вуглистої залишки за будь-якого складу ТПВ.

Значимість отриманих результатів для практичного використання.

Розроблені моделі і методи керування енергетичною установкою піролізу для термічної утилізації ТПВ. Запропонована технологічна схема дозволяє термічно утилізувати практичну більшість ТПВ та мінімізувати вплив «кислих газів», які виникають при піролізі.

Результати роботи впроваджено в ТОВ «Аграрний інститут». Модельні зразки САК пройшли випробування в ТОВ «Украгро» та впроваджені в навчальний процес ДУ «Одеська політехніка» кафедри комп'ютерних технологій автоматизації в дисциплінах «Моделювання теплоенергетичного обладнання в АСУ», «Динаміка теплових процесів», «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів», «Структурна та параметрична оптимізація».

Повнота викладення результатів досліджень в наукових публікаціях за темою дисертації, відсутність порушення академічної доброчесності.

Результати наукових досягнень викладено в 12 друкованих працях, з них 6 – у спеціалізованих наукових виданнях (2 публікації – у міжнародній наукометричній базі SCOPUS), 6 доповідей і тез доповідей – на міжнародних конференціях.

Кількість публікацій за темою дисертаційної роботи та часовий інтервал, на якому вони публікувалися, достатньо великі. В них досить повно відображені наукові положення дисертації. При оприлюдненні наукових результатів було дотримано вимоги пунктів 9, 11 і 12 Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою КМУ № 167 від 06.03.2019 р. зі змінами, згідно постанови КМУ №979 від 21.10.2020 та № 608 від 09.06.2021 р. Наукові результати дисертації, викладені у публікаціях, у повній мірі відображають основні результати дослідження.

Одним з об'єктивних елементів доказу відсутності порушення академічної доброчесності автором є наявність публікацій Бутенка О.В. в рецензованих журналах, які перевіряють подані публікації на відсутність запозичень. Крім того Бутенком О.В. дотримано вимоги академічної доброчесності, що підтверджується протоколом програми StrikePlagiarism від 28.06.2021 року. В цілому при підготовці відгуку в тексті дисертації не було знайдено **порушення академічної доброчесності**.

По дисертаційній роботі є наступні зауваження:

1. Перший розділ «Аналіз стану проблеми утилізації ТПВ як об'єкта управління» краще назвати «Аналіз можливості регулювання енергетичних технологій переробки і утилізації ТПВ» і присвятити аналізу першоджерел за темою дисертації.

2. Незрозумілим є поняття «Імітаційна модель ТПВ» у підрозділі 2.1. Швидше мається на увазі структурно-кількісна модель ТПВ.

3. У підрозділі 3.3 на рис. 3.1 показано позиційне представлення єдиного числа нормованих значень вихідних даних. А далі вводиться поняття числозгортка, що в подальшому є визначальним при розв'язанні оберненої задачі інтерпретації на базі використання даних бібліотеки. Але не зрозуміло, в чому полягає згортка.

4. У підрозділі 4.2.2 імітаційна математична модель піролізної установки побудована на основі передавальних функцій, які представлені в табл. 4.1 і відповідають послідовному з'єднанню інерційної ланки першого порядку і ланки запізнення. Але моделювання піролізної установки в просторі станів дозволило б спростити відповідну модель.

5. Незрозуміло, як саме обчислювалися параметри ПІД регулятора автоматичної системи регулювання піролізної установки у підрозділах 4.1 і 4.2. Відповідні процеси регулювання є стійкими, але коливальними. Для покращення процесів потрібно виконати оптимізацію параметрів регуляторів, як показано на рис 4.13.

6. У роботі часто зустрічаються терміни «енергетична установка піролізу», «установка піролізу», «піролізна піч», які використовується в значенні окремої установки, а також в значенні установки, що об'єднує декілька установок. Доцільно термінологічно розділити ці випадки.

7. На стор. 130 вказано, що «результати моделювання показали, що запропонована АСР утилізації ТПВ дозволяє найкращим чином перетворювати його в газоподібний стан», але нічого не вказується про твердий залишок, де накопичуються будь які відходи піролізу, включаючи вуглецевий залишок. По

суті результати моделювання показали розподіл між брудними і чистими речовинами.

Наведені зауваження ніяким чином не знижують високий науковий рівень роботи, її наукову і практичну цінність.

Висновок

Все перелічене дає підстави стверджувати, що дисертаційна робота Бутенка Олександра Валерійовича «Автоматизована система керування установкою піролізу на основі ідентифікації складу твердих побутових відходів» є закінченим самостійним науковим дослідженням, у якому отримані нові науково обґрунтовані результати в певній галузі науки, що в сукупності вирішують важливу наукову задачу.

За змістом, актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю робота відповідає вимогам, передбаченим п.10 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою КМУ №167 від 06.03.2019 р. зі змінами, згідно постанови КМУ №979 від 21.10.2020 та № 608 від 09.06.2021 р., та чинним вимогам МОН України.

Вважаю, що автор дисертації «Автоматизована система керування установкою піролізу на основі ідентифікації складу твердих побутових відходів» Бутенко Олександр Валерійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, галузь знань: 15 – автоматизація та приладобудування.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри теоретичної механіки
Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова,
доктор технічних наук, професор

Волков В.Е.

Підпис **Волкова В.Е.**, засвідчую:

