

## ВІДГУК

офіційного опонента

д-ра техн. наук, професора кафедри технічної експлуатації флоту,  
професора Онищенко Олега Анатолійовича на дисертаційну роботу

### **БУТЕНКО ОЛЕКСАНДРА ВАЛЕРІЙОВИЧА**

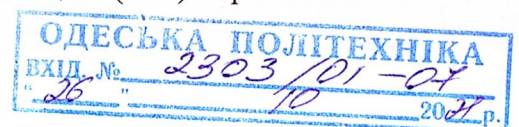
«Автоматизована система керування установкою піролізу на основі ідентифікації складу твердих побутових відходів», яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, галузь знань: 15 – автоматизація та приладобудування.

### **1. АКТУАЛЬНІСТЬ ОБРАНОЇ ТЕМИ**

В Україні утворилося і зберігається на полігонах близько 10 млн т твердих побутових відходів (ТПВ). Дорожня карта Європейського союзу з утилізації муніципальних відходів передбачає до 2035 захоронень на полігонах не - більше 10 % від їх обсягу. Решта обсягу повинна перероблятися або спалюватися. Аналіз світового досвіду показує, що найдоступнішим і економічно доцільним способом утилізації ТПВ є їх різноманітна термічна обробка. Як заміна спалюванню ТПВ, альтернативою вважається автоматично керований процес двостадійного піролізу - з подальшим використанням отриманих горючих речовин в енергетичному устаткуванні.

Наразі немає єдиного методу автоматизованого управління процесом спалювання ТПВ заздалегідь невідомого складу. Використання будь-яких видів екстремальних регуляторів має загальний недолік, який залежить від виду необхідної екстремальної характеристики процесу. При наближенні до точки екстремуму градієнт вимірюваного параметра до прийнятої обчислювальної похибки зменшується до нуля. Таке відбувається як для моменту визначення максимальної температури при горінні, так і для стадії визначення максимальної температури теплоносія.

Аналогічна властивість градієнту вимірюваного параметра виникає і при визначенні мінімальної концентрації окису вуглецю (CO) при мінімальній



концентрації кисню в димових газах, коли останнє значення наближається до нуля.

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 зворотною і некоректно поставленою. Не існує єдиного методу вирішення всього різноманіття зворотних, некоректно поставлених задач - кожен їх вид вимагає оригінального, індивідуального підходу.

Це ускладнює або навіть виключає використання існуючих методів рішення в автоматичному регуляторі визначення брутто-формули пального змінного складу. Саме це спричиняє необхідність оперативного багаторазового отримання рішення задачі, що призводить до необхідності розробки нового методу розв'язання оберненої і некоректно поставленої задачі для розв'язання завдання автоматизованого керування процесу перелізу ТПВ.

Необхідність удосконалення моделей і методів автоматизованої системи керування енергетичною установкою піролізу для термічної утилізації твердих побутових відходів за рахунок ідентифікації їх складу при нададіабатичному розкладанні для отримання продукт-газу максимальної теплотворної здатності, за рахунок розв'язання оберненої і некоректно поставленої задачі пошуку найкращого рішення при термічній утилізації ТПВ і визначає актуальність цієї роботи. Вирішення цієї задачі і практичне її використання суттєво підвищує якість процесів згоряння ТПВ.

Робота виконана відповідно до Програми поводження з твердими побутовими відходами, яку затверджено постановою КМУ від 4.03.2004 року за № 265 та Загальнодержавної програми поводження з відходами на 2013–2020 роки, яку затверджено постановою КМУ від 3.01.2013 р. № 22-р.

Дослідження, безумовно, є актуальним.



## 2. ОБҐРУНТОВАНІСТЬ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ, СФОРМУЛЬОВАНИХ У ДИСЕРТАЦІЇ, ЇХ НОВИЗНА

Теоретичні дослідження дисертаційної роботи ґрунтуються на сучасних загальноновизнаних наукових підходах, методах і моделях, з яких в роботі використані наступні.

Математичний аналіз допоміг визначити властивості аналізованих функцій; імітаційне моделювання підтвердило одержані теоретичні результати; методи системного аналізу використані для декомпозиції технологічного процесу; моделювання зміни теплотвірної здатності ТПВ залежно від якісного складу ТПВ, визначеного через брутто-формулу, дозволило обґрунтувати отримання максимального значення теплотвірної здатності продукт-газу; метод бібліотеки для розв'язання оберненої і некоректно поставленої задачі пошуку найкращого рішення при термічній утилізації ТПВ; моделювання нестационарних процесів піролізу, заснованих за законами збереження речовини Дальтона, хімічної рівноваги за парціальними тисками, засноване на рішенні системи нелінійних алгебраїчних рівнянь, дало змогу врахувати вплив збурення за складом ТПВ на кількість утворення вуглистого залишку; методи чисельного моделювання зміни властивостей об'єкта керування дозволили визначити вид технологічної схеми термічної утилізації ТПВ; комп'ютерні інформаційні та програмні технології для реалізації розробленого алгоритму керування.

Модернізація технології переробки ТПВ дала можливість одночасного збільшення загальної ефективності при автоматичному регулюванні кількості підведеного тепла. Теплотвірну здатність вуглистий залишок складає  $Q_{\text{рн}} = 30$  МДж/кг, вихід якого може досягати 30...35 % від маси ТПВ. Продукт-газ має теплотвірну здатність  $Q_{\text{рн}} = 15...22$  МДж/н м<sup>3</sup>. Технологічна схема установки піролізу працює за технологією фільтраційного горіння, підігрів повітря для окиснювання здійснюється за рахунок охолодження продукт-газу,

а в установку додатково для розкислення в ТПВ додається сухий порошок СаО або  $\text{Na}_2\text{O}$ . При цьому в вуглистому залишку накопичуються тверді відходи.

Підтвердження наукових положень, висновків і рекомендацій отримано при впровадженні, а саме у ТОВ «Аграрний інститут». Модельні зразки САК пройшли випробування в ТОВ «Украгро». Моделі та методи впроваджено в навчальний процес Державного університету «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».

Впровадження практичних результатів дослідження є найбільш об'єктивною формою перевірки їх обґрунтованості та достовірності. Отже, наукові положення, висновки і рекомендації дисертації слід вважати добре обґрунтованими і достовірними.

Наукова новизна, що сформульована у дисертації, вирішує нове наукове завдання, важливе для галузі знань, з якої вона захищається, а саме: автоматизації та приладобудування, галузь знань — 15, спеціальність 151 — автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Можна погодитися, що вона містить раніше незахищені наукові положення та отримані автором нові науково обґрунтовані результати. А саме:

- 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 - вуглеводневі; друга група - вуглеводневі ті, що містять кисень; третя група - вуглеводневі ті, що містять кисень та азот; четверта група - вуглеводневі та ті які 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



прямой 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 дало можливість отримати розв'язок задачі у вигляді брутто-формули продукт-газу максимальної теплотвірної здатності;

- знайшла подальший розвиток імітаційна модель автоматизованої системи керування 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 наадабатичному режимі, що уможливило знайти сталі рішення для будь якого співвідношення «зовнішні збурення – керуючі впливи АСР», що дозволяє отримувати продукт-газ з максимальною теплотвірною здатністю при мінімальній кількості вуглистою залишку за будь-якого складу ТПВ.

### **3. ПОВНОТА ВИКЛАДУ В НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЯХ, ЗАРАХОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ, ВІДСУТНІСТЬ ПОРУШЕННЯ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ**

Результати наукових досліджень викладені здобувачем у 12 друкованих працях, з них 6 – у спеціалізованих наукових виданнях (2 публікації – у міжнародній науково-метричній 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 повно відображені наукові положення дисертації. При оприлюдненні

наукових результатів 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.

Тези доповідей конференцій та інші публікації збільшують повноту подання наукових положень і відображують пріоритети автора у розв'язанні наукових і прикладних завдань обраного ним наукового напрямку. Дисертаційна робота включає всю необхідну для її оцінки інформацію, містить основні положення, висновки та рекомендації. Оформлення дисертаційної роботи та її обсяг відповідають вимогам МОН України.

Наукові результати і здобутки, викладені в дисертації, одержані автором самостійно. Автору належать основні ідеї у розробці методів і моделей процесу термічної переробки та утилізації за рахунок автоматизованого керування установкою піролізу при нададіабатичному розкладанні ТПВ для отримання продукт-газу максимальної теплотвірної здатності, при розв'язанні оберненої і некоректно поставленої задачі пошуку найкращого рішення для ідентифікації складу відходів.

Одним з об'єктивних елементів доказу відсутності порушення академічної доброчесності автором є публікації автора в рецензованих журналах які перевіряють подані публікації на відсутність запозичень при друкуванні статей автора. Крім того Бутенко О.В. дотримано вимоги академічної доброчесності та не допущено її порушень під час дослідження, що підтверджується протоколом програми StrikePlagiarism від 28.06.2021 року який опрацьовано фахівцями кафедри Комп'ютерних технологій автоматизації та членами групи забезпечення підготовки доктора філософії по ОНП за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». В цілому, при підготовці відгука офіційного опонента, в тексті дисертації не було знайдено порушення академічної доброчесності.



#### 4. ЗАУВАЖЕННЯ ПО ДИСЕРТАЦІЙНІЙ РОБОТІ

1. З першого розділу «Аналіз стану проблеми утилізації ТПВ як об'єкта управління» доречно матеріали п. 1.2 «Аналіз структури ТПВ» перенести у другий розділ «Імітаційна модель ТПВ як об'єкта керування», а підрозділ 1.6 «Постановка завдань дослідження» скоротити. З третього розділу «Метод бібліотеки для визначення складу продуктів піролізу ТПВ» доречно матеріали п. 3.2 «Методи обчислення умовної формули ТПВ» перенести в другий розділ «Імітаційна модель ТПВ як об'єкта керування».

2. Всі формулювання наукової новізни дуже громіздкі і складно піддаються аналізу.

3. В другому розділі запропоновано з утворених газових продуктів перолізу метод і технологія виведення сполук Cl, S і F, і це доведено переконливо. Але у підпункті 1.4 «Аналіз утворення токсичних речовин при тепловій утилізації ТПВ» мова йде ще про особливо небезпечні шкідливі та отруйні речовини, наприклад, фосген, діоксини, групи фуранів. З матеріалів роботи незрозуміло, як з утворених газових продуктів піролізу вилучити ці отруйні речовини?

4. Стор. 92. «Для впровадження раціонального або більш широко контрольованого процесу спалювання палива немає необхідності знати його брутто-формулу», не зовсім зрозуміле положення яке вступає в супереч з науковою новизною роботи.

5. Не зрозумілими є результати порівняння, які представлено в таблиці 3.2, нормовані розраховані і точні брутто-формули з наведеними значеннями кількості атомів.

6. В четвертому розділі «Система автоматичного керування установкою піролізу для термічної переробки ТПВ» використана імітаційна модель процесу піролізу, яка дозволяє визначати продукт-газ з максимальною теплотвірною здатністю за відсутності або мінімальній кількості вуглистого залишку в залежності від складу ТПВ. Краще б було розв'язати задачу

оптимізації між кількістю отриманих речовин продукт газу і вуглистого залишку, а не максимізувати утворення продукт газу з максимальною теплотвірною здатністю.

7. У третьому розділі (п.п. 3.4) дуже стисло описана оцінка прямих показників якості інструменту після роботи системи керування, що не дозволяє їх однозначно інтерпретувати.

8. Взаємозв'язки між вхідними та вихідними параметрами установки піролізу представлені у вигляді таблиці передавальних функцій. Коефіцієнти передачі передавальних функцій були визначені з розрахунку процесу піролізу та наведено в табл. 4.1, але як ідентифіковані коефіцієнти передачі передавальних функцій - невідомо.

## **5. ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЇ В ЦІЛОМУ**

Дисертаційна робота **Бутенко Олександра Валерійовича** «Автоматизована система керування установкою піролізу на основі ідентифікації складу твердих побутових відходів» за своїм змістом та оформленням задовольняє вимогам МОН України до дисертаційних робіт і є закінченим самостійним науковим дослідженням.

В роботі є нові науково-обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують складну актуальну науково-технічну задачу: удосконалені методів і моделей автоматизованої системи керування енергетичною установкою піролізу з термічної утилізації твердих побутових відходів за рахунок ідентифікації їх складу при нададіабатичному розкладанні для отримання продукт-газу максимальної теплотвірної здатності. Запропонована автоматизована система керування дає можливість отримати максимальну теплотвірну здатність продукт-газу при розв'язанні оберненої і некоректно поставленої задачі пошуку найкращого рішення зі складу ТПВ при термічній утилізації.



Дисертаційна робота відповідає ОНП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» за спеціальністю 151».

Дисертація 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 дослідження - **Бутенко Олександр Валерійович**, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, галузі знань 15 – автоматизація та приладобудування.

Офіційний опонент д-р техн. наук, професор,  
професор кафедри технічної експлуатації флоту  
Національного університету «Одеська морська  
академія»

О. А. Онищенко

