

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу  
Жученко Людмили Костянтинівни

на тему «Автоматизація процесів керування  
термічною обробкою вуглецевих матеріалів»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань Автоматизація та приладобудування  
за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

### **Актуальність теми дисертації.**

Проблема ефективності та ресурсозбережності енергоємних виробництв з кожним роком стає актуальнішою, що зумовлено екологічними аспектами та темпами розвитку світової економіки. Прикладом таких процесів є термічна обробка вуглецевих матеріалів, які, у свою чергу, є основним компонентом у багатьох галузях промисловості, зокрема: хімічній, металургії, машинобудуванні тощо.

Вуглеграфітове виробництво є енергозатратним, і дотримання енергозберігаючих технологій може призвести до суттєвої економії ресурсів і великого економічного виграшу. Технологічні процеси формування та випалювання вуглецевих виробів становлять значну частину енерговитрат вуглеграфітового виробництва. Саме ці процеси визначають ефективність виробництва в цілому.

Існуючі вітчизняні системи керування технологічними процесами вуглеграфітового виробництва потребують удосконалення або навіть розробки нових, які відповідали б сучасним вимогам ефективності та ресурсозбереження. При цьому варто зазначити необхідність оптимізації теплових режимів, що є визначальними у функціонуванні процесу випалювання, і дослідження його характеристик є обов'язковим етапом перед розробкою системи керування. Саме тому, суттєву увагу у дисертації приділено процесу формування вуглецевих виробів, оскільки на даному етапі закладаються у здебільшому всі властивості, що визначають якість готових виробів, задаючи форму заготовки,

розміри, механічну міцність та пористість. При цьому серед існуючих видів формування, основну увагу авторка дисертації приділяє продавлюванню через мундштук певної форми, оскільки він має ряд переваг і найбільш часто використовується на виробництві. Основним технічним елементом даного процесу є гідравлічний прес, і слід зазначити, що найактуальнішим питанням при цьому є стійкість до відмов його системи керування.

Окрім того, у роботі проведено ґрунтовне математичне моделювання режиму «камера під вогнем» для багатокамерної печі. Це дозволило провести аналіз розподілу температурних полів і визначити характеристики температурних зон в об'єкті дослідження, а також їх можливу зміну при різних типах завантаження і дослідити вплив витрати палива як основного керувального впливу на перебіг процесу випалювання.

Проведене авторкою дослідження, спрямоване на підвищення ресурсоефективності та енергозбереження технологічних процесів формування та випалювання вуглецевих виробів вуглеграфітового виробництва шляхом створення комп'ютерних систем оптимального керування, має велике значення як для вітчизняної науки і промисловості, так і для світової наукової та практичної спільноти, що займається проблемами вуглеграфітового виробництва.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукові положення, висновки та рекомендації у адекватному обсязі виправдані. Вони ґрунтуються на сучасних вітчизняних та міжнародних наукових джерелах, а також правильно використовують числові методи для розв'язання систем диференціальних рівнянь і методи теорії автоматичного керування для моделювання та аналізу перехідних процесів у об'єктах, що досліджуються у дисертаційній роботі.

Значна частина інформації представлена у формі математичних викладів, графіків, схем та таблиць, які ілюструють та доповнюють наукові висновки дисертації. Достовірність отриманих результатів обчислювальних експериментів підтверджується правильним використанням відповідних

математичних моделей, використанням сучасних програмних засобів, таких як Matlab та Simulink, наведенням параметрів математичних моделей (об'єктів), порівнянням отриманих результатів із відомими експериментальними даними та кількісною оцінкою точності моделей.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

1. За результатами проведеного системного аналізу технологічних процесів формування та випалювання вуглецевих виробів вуглеграфітового виробництва як об'єктів автоматичного керування сформульовані нові завдання побудови систем керування даними процесами, які відповідають сучасним вимогам ресурсо- та енергоефективності;
2. Вперше синтезована відмовостійка система керування технологічним процесом формування вуглецевих виробів вуглеграфітового виробництва, особливістю якої є урахування циклічного характеру даного процесу шляхом використання керування з ітеративним навчанням; визначені оптимальні параметри налаштування системи;
3. Вперше розроблена система програмного керування керування технологічним процесом випалювання вуглецевих виробів вуглеграфітового виробництва на основі лінійно-квадратичного регулятора, досліджено вплив тривалості процесу на його техніко-економічні показники та налаштувань регулятора на якість готової продукції;
4. Вперше створена система керування реального часу, яка побудована на вимірюваннях температури пересипки для визначення температур заготовок у характерних точках;
5. Набуло подальшого розвитку дослідження теплових режимів технологічного процесу випалювання вуглецевих виробів вуглеграфітового виробництва у «камері під вогнем», результати якого дозволили проаналізувати характер розподіленості температурних полів у камері, визначити розташування та характерні особливості температурних областей, на підставі чого були умовно виділені три

температурні зони – гаряча, підсклепінчата та холодна, що було використано при побудові системи керування;

6. Проведено дослідження впливу витрати палива як основної керувальної дії на перебіг технологічного процесу випалювання, особливо у частині зміни перепаду температур у заготовках, яка суттєво впливає на якість готової продукції.

Наукові дослідження виконано згідно із планом досліджень кафедри автоматизації енергетичних процесів та кафедри технічних та програмних засобів автоматизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» на замовлення ПрАТ «Український графіт» в межах наукової тематики: «Створення комп'ютерно-інтегрованих систем керування технологічними процесами та виробництвами для забезпечення якості продукції та ресурсозбереження» – державний реєстраційний номер 0121U114712 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Таким чином, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання розроблення автоматизованої системи діагностування стану роботи компонентів об'єкта виконано повністю, здобувачка повною мірою оволоділа методологією наукової діяльності.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувачки Жученко Л.К. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувачки у науковий напрям «Методи та засоби моделювання, математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення автоматизованих систем керування об'єктів енергетики».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Жученко Людмили Костянтинівни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 164 сторінки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, відомості про апробацію результатів, зазначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану процесів формування та випалювання вуглецевих виробів, технологічних особливостей процесу формування, конструкцій гідравлічних пресів для формування вуглецевих виробів, фізико-хімічні перетворень вуглецевих заготовок у процесі випалювання, конструктивних особливостей багатоканальної печі Рідгаммера. Обґрунтовано доцільність обраних методів досліджень. Виконано постановку завдання дисертаційного дослідження.

Другий розділ присвячено синтезу відмовостійкої системи керування процесом формування вуглецевих виробів і оптимізації її налаштувань. Сформульовано мету керування, яка полягає у визначенні такого закону керування, при якому вихідні змінні процесу максимально наближено відслідковують задану траєкторію руху системи навіть при наявності несправностей регулювальних органів. Проведено аналіз традиційної відмовостійкої системи керування, яка не враховує циклічність процесу формування вуглецевих виробів. На основі даного аналізу запропоновано існуючу відмовостійку систему керування, шляхом врахування циклічності

процесу формування. Досліджено ефективності запропонованої відмовостійкої системи керування у різних випадках, зокрема: при постійно діючій несправності та повторюваному збуренні; при зміні несправності у часі та неповторюваному збуренні тощо.

Третій розділ присвячено дослідженню теплових режимів «Камера під вогнем» процесу випалювання вуглецевих виробів. Проведено математичне моделювання теплових режимів процесу випалювання на основі моделі нестационарного дифузійного згоряння природного газу в турбулентному потоці, що включає в себе рівняння збереження кількості руху, нерозривності, транспорту хімічних компонентів реакції горіння, енергії в ентальпійному вигляді, турбулентної кінетичної енергії; моделі конвективного теплообміну, що описує стаціонарний конвективний теплообмін поверхні твердого тіла і середовища, яке його омиває щодо малих змін температурного поля і поля тиску в рідині. Наведено загальну характеристику температурних полів «камери під вогнем» та вплив на них витрати палива.

Четвертий розділ присвячено синтезу системи керування процесом випалювання вуглецевих виробів, проведено аналіз існуючих систем керування, сформульовано завдання дослідження, запропоновано систему програмного керування, синтезовано систему керування реального часу, яка дозволяє враховувати поточні збурення, діючі в процесі випалювання, а також продовжувати оптимальне керування технологічним процесом після його зупинки, викликаній відключенням електроживлення.

У висновках наведено узагальнення отриманих у дисертаційній роботі наукових і практичних результатів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у 9 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України;

Також результати дисертації були апробовані на 5 наукових фахових конференціях.

Усі публікації здобувачки мають високий науковий рівень. Особистий внесок здобувачки до публікацій за співавторством вагомий.

Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Принципів академічної доброчесності у жодній з публікацій не порушено.

Кількість та якість публікацій відповідає «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою КМУ від 12 січня 2022 р. № 44.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувачки.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

Загалом робота створює позитивне враження.

Не зважаючи на високий науковий рівень дисертації, її практичну значущість та актуальність до роботи є ряд зауваження, а її окремі положення потребують додаткових пояснень, а саме:

1. При формулюванні пунктів наукової новизни доцільно було б вказати чим вони відрізняються від існуючих і в чому їх переваги.
2. У якості практичних значень отриманих результатів вказано розроблення програмного забезпечення комп'ютерних систем оптимального керування процесами формування та випалювання вуглецевих виробів, проте у самому тексті відсутній його опис.
3. У розділі 2 було б доцільним приділити більше уваги врахуванню надійності окремих компонентів і системи в цілому, які носять стохастичний характер, при побудові математичної моделі відмовостійкої системи керування процесом формування вуглецевих виробів.

4. Із розділу 2 не зрозуміло які саме відмови враховуються при побудові запропонованої відмовостійкої системи керування.
5. Для побудови відмовостійкої системи керування було б доцільним використати методи прогнозування відмов на основі штучних нейронних мереж, що дозволило застосувати превентивні заходи для зниження рівня аварійності системи керування
6. У розділі 3 наведено розроблення системи програмного керування керування технологічним процесом випалювання вуглецевих виробів та створення системи керування реального часу, яка побудована на вимірюваннях температури пересипки для визначення температур заготовок у характерних точках проте не зрозуміло як ці дві системи: програмного керування та керування у реальному часі узгоджуються між собою.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувачки ступеня доктора філософії Жученко Людмили Костянтинівни на тему «Автоматизація процесів керування термічною обробкою вуглецевих матеріалів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань «Автоматизація та приладобудування».

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти,



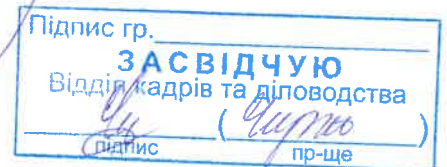
наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувачка Жученко Людмила Костянтинівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

**Рецензент:**

доцент кафедри технічних та програмних засобів автоматизації  
Національного технічного  
університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
канд.техн. наук, доцент

Артем САЗОНОВ



«24» січня 2024 року