

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Ситнікова Олексія Володимировича “Моделювання та автоматичне  
керування тепловим режимом скловарної печі ванного типу ” на здобуття  
наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.13.07 – автоматизація процесів керування

### ***Актуальність теми дисертаційного дослідження***

Дисертаційна робота присвячена потребам підвищення енерго- та ресурсоефективності технологічних процесів виробництва скла у скловарному виробництві. Найбільш затратним серед всіх ланок процесу виступає власне процес виготовлення скломаси у варильній зоні скловарної печі. У зв'язку з цим постає актуальна наукова задача розробки системи керування оптимальної подачі газу по пальниках печі, що забезпечить функціонування у режимі енергозбереження не погіршуючи якість виробленої продукції. Держава має обмежені запаси пального і практично всі питання постачання газу на промислові підприємства вирішується за рахунок імпорту. Виходячи із тенденцій ринку, ціни на природний газ постійно зростають, тому використання пального необхідно вести з максимальною економією.

Сформовано основне коло питань, що підлягають дослідженню: енергоефективність роботи скловарної печі, недостатній рівень розробки математичних моделей, алгоритмів керування процесом скловаріння та недостатньо ефективні системи в цілому є актуальними задачами, розв'язку яких присвячена робота.

Розвиток цих напрямків вимагає математичного та імітаційного моделювання, розробки та порівняння різ них типів сучасних систем керування, що і проводиться в опонованій роботі.

### ***Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.***

Підтвердження актуальності дисертаційних досліджень є їхній зв'язок з тематикою та напрямком наукових досліджень кафедри технічних і програмних засобів автоматизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» у рамках науково-дослідних робіт «Створення комп'ютерно-інтегрованих систем автоматичного контролю та керування, що забезпечують ресурсо- та енергозберігаючі режими функціонування технологічних процесів та виробництв» (номер держреєстрації № 0110U006890)

## ***Обґрунтованість і достовірність наукових положень та висновків***

У **вступі** обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, визначені мета, об'єкт та предмет проведеного дослідження. Сформульовано задачі дослідження та наведено основні наукові та практичні результати. Також у вступі зазначені особистий внесок здобувача, апробація результатів дисертаційної роботи на конференціях, наведено відомості про публікації.

У **першому розділі** дисертації проведено аналіз типів скловарних печей, існуючих рішень в напрямках математичного моделювання процесу скловаріння та існуючих систем керування. Запропонована структурно-параметрична схема печі з урахуванням всіх входів, виходів та збурень.

Сформульовано основні завдання дослідження, що направлені на вдосконалення існуючої математичної моделі скловарної печі та створення енергоефективної системи керування процесом виготовлення скломаси.

У **другому розділі**, на основі моделі зовнішнього теплообміну та за допомогою структурного моделювання була створена загальна математична модель скловарної печі з врахуванням процесу нагрівання скломаси, окремо враховано теплопередачу між скломасою та кладкою дна печі. Розроблена математична модель динаміки нагрівання скломаси в варильній зоні печі, що описується тривимірним рівнянням теплопровідності, виведені передатні функції за відповідними каналами. Враховано в загальній моделі скловарної печі окремо кладки бокових стінок, а окремо кладки дна дало можливість більш досконало дослідити процес теплообміну між скломасою та кладкою.

У **третьому розділі** Проведено перевірку на адекватність розробленої математичної моделі експериментальним даним за статистичними критеріями Стюдента і Фішера. Розроблена та досліджено апроксимуюча математична модель скловарної печі, вибрано метод спрощення розробленої моделі скловарної печі з використанням чебишевського наближення. Дало можливість використовувати апроксимовану модель у системі керування реального часу. Проведено дослідження: температурних полів скломаси у різних перерізах скловарної печі за допомогою засобів імітаційного моделювання; результатів дії збурення на об'єкт керування, виявлено недоліки в роботі існуючої системи.

У **четвертому розділі** проведений аналіз та дослідження критерія оптимальності керування. Розроблено алгоритм програмного керування системою подачі газу по пальника печі з використанням загального регулятора. Розроблено адаптивну систему керування скловарною піччю та з використанням регулятора на основі алгоритму нечіткої логіки. Проведено порівняльний аналіз роботи розроблених систем та виявлено кращу, за показниками, систему керування тепловим режимом роботи скловарної печі.

**Достовірність результатів** роботи забезпечується коректним використанням математичного апарату, підтверджується рядом проведених порівняльних досліджень розробленої моделі з даними отриманими з виробництва.

Результати розробки підтверджують коректність запропонованих підходів.

### ***Наукова новизна результатів дисертаційної роботи***

Найбільш суттєвими результатами проведених досліджень, які мають наукову новизну та виносяться на захист, є наступні:

- модифікована система рівнянь зовнішнього теплообміну за рахунок врахування рівнянь балансу ефективного та результуючого випромінення поверхонь та середовищ (зональний метод розрахунку, метод сальдо-потоків), що дає можливість врахувати всі розподіли температури в печі;

- набула подальшого розвитку математична модель динаміки процесу нагрівання скломаси, яка враховує розподіл температури у повздовжньому і поперечному напрямках нагрівання, та дало можливість визначити в якому напрямку швидкість на порядок вища ;

- вдосконалено спрощену математичну модель варильної зони скловарної печі при контакті «скломаса-стінка» та «скломаса-дно» та доведено доцільність її використання у системах керування;

- вперше запропонована система автоматичного керування процесом скловаріння на основі регулятора зовнішнього контуру, що виконує задачу керування всіма регуляторами по зонах печі;

- набула подальшого розвитку система керування режимом скловарної печі на основі адаптивного регулятора, дало можливість максимально уникнути дію збурення;

- модифікована систему керування тепловим режимом скловарної печі з використанням алгоритму нечіткої логіки.

Наукові положення дисертації, висновки та рекомендації щодо застосування результатів дослідження достатньо обґрунтовані.

### ***Практичне значення результатів дисертаційної роботи***

Практична цінність одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблена та модифікована структурна модель об'єкту керування дає можливість застосувати її при дослідженні теплових об'єктів керування з розподіленими параметрами;

- створена система керування забезпечує підвищення якості автоматичного контролю і ефективності керування процесом виготовлення скломаси;

- запропонована методика синтезу системи керування скловарною піччю може бути застосована при синтезі систем керування ванними печами для інших технологічних процесів;

- матеріали дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі та в межах ініціативної тематики кафедри технічних та програмних засобів автоматизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### ***Апробація результатів та публікації.***

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 17 друкованих праць, з них 9 статей у наукових фахових виданнях України, з них 1 стаття у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР, 1 патент України на корисну модель, 6 тез доповідей у збірниках матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій, 1 статті у інших виданнях. Основні публікації достатньо повно відображають зміст роботи.

### ***Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації***

Зміст автореферату ідентичний змісту і основним положенням дисертаційної роботи та достатньо повно їх відображає. Характеризує сутність новизни та практичної цінності досліджень, засвідчує особистий внесок автора у розв'язанні поставлених задач.

### ***Структура і обсяг дисертації***

Дисертація містить анотації на українській та англійській мовах, список публікацій, складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Обсяг дисертації 200 сторінок, містить 108 рисунків, 7 таблиці.

### ***Оцінка дотримання принципів академічної доброчесності***

Дисертаційна робота пройшла перевірку на унікальність текстового наповнення, яка засвідчила її відповідність принципам академічної доброчесності. Всі посилання на використані джерела оформлені коректно. Мова та стиль дисертації відповідають вимогам МОН України.

### ***Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації***

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації і дає повне уявлення про отримані результати дослідження та їх наукову новизну та практичну значимість.

### **За змістом дисертації є наступні зауваження:**

1. В меті досліджень вказано “підвищення ефективності процесу виготовлення скломаси” є незрозумілим факт визначення (виміру, оцінки) власне поняття ефективності.
2. Розроблена в розділі 1 структурно-параметричної схеми об'єкту керування (рис.1.10) містить некеровані збурення склад шихти та швидкість завантаження шихти в ході процесу варки. Варто було б навести більш детальне роз'яснення, чому саме ці два параметри віднесені до некерованих збурень.
3. Формула 2.19 розглядає регулярний тепловий режим при нагріванні прямокутної області, не вказано одразу, що скломага являє собою форму паралелепіпеда і відповідно присутня можливість розгляду прямокутної області.

4. При побудові температурних полів скломаси, газового простору та кладки бажано зазначити яке використано програмне забезпечення для виконання відповідної побудови.

5. У дисертаційній роботі було використано квадратичний критерій якості керування. Чому вибраний саме цей критерій? Чи були проведені дослідження ефективності використання інших видів критеріїв?

6. В системі керування скловарною піччю, що створена за допомогою діаграми класів не вказано призначення та особливостей роботи блоку SCADA System.

7. Висновки до розділів дисертації наведено у стислій формі без вказання числових значень ефективності отриманих рішень

Слід зазначити, що відмічені зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи

### ***Висновок***

Дисертаційна робота Ситнікова Олексія Володимировича є завершеною науковою працею в якій отримано нові науково обґрунтовані результати з розробки системи керування тепловим режимом роботи скловарної печі.

Незважаючи на наведені вище зауваження, вважаю, що кандидатська дисертація Ситнікова Олексія Володимировича за актуальністю теми, ступенем обґрунтованості наукових положень, рівнем апробації та публікацій, достовірності та науковою новизною відповідає вимогам п. п 9, 11 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника” затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 576 щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

### **Офіційний опонент**

**Професор кафедри автоматичних**

**та робототехнічних систем**

**ім. академіка І.І. Мартиненка,**

**Національного університету**

**біоресурсів і природокористування України,**

**доктор технічних наук, професор**



**Ігор БОЛБОТ**

