

## 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

Дисертаційна робота, відгук на яку подається нижче, включає 200 сторінок основного тексту. Автореферат дисертації викладено на 28 сторінках.

**Актуальність теми** обумовлена потребою підвищення енергоефективності технологічного процесу скловаріння з використанням регенеративної скловарної печі ванного типу. За порівняльним аналізом, який наводить здобувач, результат ефективності відстає від розвинених країн більше як у 1,5 рази за оцінкою витрат на виробництво. У зв'язку з цим постає актуальна наукова задача створення системи керування, що забезпечить режим енергозбереження процесу скловаріння. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з планами та науковими програмами кафедри технічних і програмних засобів автоматизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

У *вступі* обґрунтована актуальність роботи здобувача, визначені мета, об'єкт та предмет дослідження, визначено задачі дослідження; представлено основні наукові та практичні результати. Також у вступі визначений особистий внесок здобувача, вказано на проведену апробацію результатів роботи на конференціях, зазначено відомості про публікації.

У *першому розділі* дисертації проведено аналіз технологічного об'єкта скловарної печі як об'єкта керування, проведений параметричний аналіз процесу скловаріння. Розглянуто особливості експлуатації скловарної печі ванного типу з регенерацією та додатковим підігрівом та проаналізовано особливості структури технологічних складових процесу. Проведено аналіз існуючих рішень в напрямках математичного моделювання і синтезу систем керування процесом виробництва скломаси та зроблено висновок про необхідність проведення дослідження та розробки структури нової математичної моделі, системи керування для виробництва скломаси

Визначено фактори, які підлягають розгляду для досягнення мети роботи. Виокремлено підсистеми, що займаються підтримання конкретних технологічних параметрів процесу

Визначено що основною задачею є підтримання на заданому рівні температури газового простору над дзеркалом скломаси, що у свою чергу буде сприяти плавленню шихти та отриманню скломаси згідно технологічного регламенту.

Виконана постановка мети та задач дослідження для її досягнення.

У *другому розділі*, обумовленні припущення що дозволяють виокремити складові майбутньої математичної моделі. Сформовано математичну модель математичну модель об'єкта керування, обумовлено підстави для її спрощення для керуванні цільовими технологічними параметрами. Для моделювання об'єкту керування розглянуто взаємозв'язки балансу результуючого та ефективного випромінювання поверхні скломаси, кладки та газового простору.

Аналітично розрахована математична модель зовнішнього теплообміну на основі рівнянь ефективного випромінювання скломаси та кладки. Аналітично виведено передатні функції за каналами «тепловий потік скломаси – вихідна температура скломаси» та «тепловий потік кладки - температура кладки в характерних точках».

У *третьому розділі* проведено перевірку на адекватність розробленої математичної моделі об'єкта керування шляхом порівняння варіативності експериментальних даних та отриманих за моделлю. Оцінювання гіпотези адекватності середніх для розподілів здійснювалося за статистичними критеріями Стюдента, а дисперсії розподілів за критерієм Фішера. Здійснений аналітичний розрахунок апроксимації для моделі керування.

Виконане дослідження температурних полів скловарної печі та впливу збурень об'єкту керування. Обґрунтоване використання адаптивного керування процесом розігріву шихти як для об'єкту з браком апріорної інформації.

*Четвертий розділ* присвячений розробці системи керування. Обґрунтований критерій оптимальності для досягнення мети роботи, шляхом досягнення термічної однорідності виробничого потоку через вплив на вектор витрат газу за групою пальників. Визначено джерело регулювання температурного режиму печі під час керування. За допомогою мови UML створено автоматизовану систему регулювання скловарною піччю. Представлено структурну схему системи керування скловарної печі з використанням блоку адаптації для регулятора зовнішнього контуру.

Виконано симуляційну перевірку ефективності розробленого рішення на математичній моделі температурного режиму скловарної печі для множини зон скловарної печі. Отримана оцінка інтегрального критерію якості керування. Наведено результати економічного ефекту, що передбачаються для створення пропозицій по виробництву.

**Наукова новизна** результатів, отриманих Ситніковим Олексієм Володимировичем, на мою думку полягає у:

- 1) вдосконаленні системи рівнянь зовнішнього теплообміну за рахунок врахування рівнянь балансу ефективного та результуючого випромінення поверхонь та середовищ;
  - 2) подальшому розвитку математичної моделі динаміки процесу нагрівання скломаси, яка враховує розподіл температури у повздовжньому і поперечному напрямках нагрівання;
  - 3) вдосконалення математичної моделі варильної зони скловарної печі при контакті «скломаса-стінка» та «скломаса-дно»;
  - 4) вперше запропонованій системі автоматичного керування процесом скловаріння на основі регулятора зовнішнього контуру, що параметризує роботу регуляторів по зонах печі;
  - 5) подальшому розвитку система керування режимом скловарної печі на основі адаптивного регулятора, дає можливість компенсувати дію збурень ефективніше за попередньо використовувані регулятори;
- б) вдосконаленні системи керування тепловим режимом скловарної печі використанням алгоритму нечіткої логіки.

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

**Достовірність результатів** роботи забезпечується коректним використанням математичного апарату, підтверджується рядом проведених досліджень симуляційного моделювання та використанням промислових даних для побудови математичної моделі.

**Практична цінність** одержаних результатів полягає у тому, що створена система керування забезпечує підвищення якості автоматичного контролю і ефективності керування процесом виготовлення скломаси. Розроблена система сприятиме підвищенню енергоефективності процесу виготовлення скломаси. Застосована методика синтезу системи керування скловарною піччю може використовуватись для синтезу систем керування

ванними печами інших технологічних процесів. Результати дослідження використовуються у навчальному процесі.

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

Результати роботи пройшли апробацію на 6 науково-практичних конференціях. За результатами дослідження в цілому опубліковано 17 праць. Є достатня кількість статей у фахових виданнях і 1 публікація у виданні, що публікуються в країні, що входять до Організації економічного співробітництва та розвитку, а також до Європейського Союзу. При цьому журнал має ISSN-номер видання; процедуру рецензування публікацій та має політику щодо дотримання редакційної етики. Результати роботи також підтверджені патентною здатністю отриманих результатів і мають 1 патент на корисну модель.

Основні публікації достатньо повно відображають зміст роботи.

**Автореферат дисертації** в цілому відповідає змісту і основним положенням дисертаційної роботи та достатньо повно їх відображає.

Оформлення дисертаційної роботи відповідає вимогам, хоча за складом рукопису є деякі неточності, які вимагають додаткового пояснення здобувачем.

За змістом дисертації є наступні зауваження.

На мою думку у оформленні кваліфікаційної роботи технічного спрямування слід більш обережно користуватися виразами «присвячено питанням», «досить енергоємний», «1,5-2 рази», «використання газу необхідно вести», «не погіршуючи якість», «сформульовано питання», «швидше», «більш високі значення», «більш досконально дослідити», «плавне коригування», «короткий проміжок часу», «опрацювати поданого збурення» «більш точно».

Окрім того:

- 1) на сторінці 3 рукопису «Аналіз був проведений для усталеного режиму печі... випромінення кладки прийнято рівним нулю, температура скломаси та кладки взяті такими, що дорівнюють середньоквадратичним величинам» - питання якими припущеннями обумовити необхідність оцінювання у багатьох точках контролю, якщо можна провести аналіз з такими обмеженнями?
- 2) на сторінці 3 рукопису «Температура кладки у характерних точках» – це регламентовані точки чи Ви особисто визначали точки необхідного контролю для підтримання адекватності Вашої моделі?

- 3) на сторінці 4 рукопису «Представлено перехід від температури.... до температури...» - в чому полягає цей перехід? Дайте визначення терміну «перехід» у даному випадку. Чи це подійно-орієнтований перехід чи може це функція часу, чи функція витрати чогось?
- 4) на сторінці 5 рукопису «Послідовність нових керуючих дій» прошу пояснити в чому їх новизна і як упорядкована ця послідовність.
- 5) на сторінці 6 «Перевага раціональне використання по пальниках», а також на сторінці 132 рукопису «досягається за рахунок збільшення витрат пального на перших двох групах пальників та перерві між завантаженням шихти», а також на сторінка 163 «Основну увагу при проектуванні адаптивної системи керування слід приділити задачі розподілення пального по пальникам». Якщо передбачалося багатопараметричне керування як множиною пальників, то в який спосіб здійснювалося налаштування перехресних зв'язків такого керування? Як розв'язувалася задача спостережності багатопараметричного впливу?
- 6) на сторінці 23 рукопису «що дає можливість врахувати всі розподіли температури в печі» що ви мали на увазі всі? Можливо є які-небудь межі, припущення, режими? Прошу уточнити термінологію «всі розподіли температури в печі» щодо даного питання.
- 7) на сторінці 23 рукопису «вперше запропоновану систему...», «набула подальшого розвитку система...», «модифікована система керування» в чому полягає відмінність, де диференціальна межа цих трьох систем, які отримали різний ступінь наукового доробку?
- 8) на сторінці 40 рукопису «відповідають поточному режиму» за який режим йде мова чим він визначається як поточний? Можливо є інший синонім застосованого терміну?
- 9) на сторінці рукопису 60 «в результаті отримана система 4-х рівнянь з 4-ма невідомими» тоді як забезпечується єдність і стійкість розв'язку такої системи?
- 10) в який саме спосіб було враховано дані виробництва сторінці 66, які призвели до отримання коефіцієнтів моделі?
- 11) поясніть будь ласка розмірність багатопараметричного критерію заявленого на сторінці 143.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Ситнікова Олексія Володимировича є завершеною науковою працею в якій отримано нові науково обґрунтовані результати з розробки системи керування процесом скловаріння з використанням регенеративної скловарної печі ванного типу.

Незважаючи на наведені вище зауваження, вважаю, що робота 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 автоматизації та

комп'ютерних технологій систем керування

Національного університету харчових технологій

д.т.н., доц.

Іващук В. В.

