

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора
Максимова Максима Віталійовича на дисертацію
Маркіної Людмили Миколаївни

**“Автоматизація процесів приготування замісу із зернової сировини та його
водно-теплової обробки у спиртовому виробництві”,**

представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю **05.13.07 – автоматизація процесів керування**

Актуальність теми дисертації.

Одним із важливих напрямів розвитку харчової промисловості України є удосконалення технологій виробництва етилового спирту, який використовується не лише у харчовій сфері, але й у фармацевтичній, агропромисловій та паливно-енергетичній галузях. Складність виробничого процесу зумовлена низкою біохімічних перетворень, серед яких особливе значення має стадія приготування замісу та його водно-теплова обробка. Саме від правильності та стабільності їх перебігу залежить ефективність усього технологічного процесу. Разом із тим, процес приготування замісу супроводжується зміною властивостей водно-зернової суміші під впливом мікробіологічних і термохімічних чинників, що створює ризики нестабільності й ускладнює точне дотримання параметрів згідно технологічного регламенту. Недосконалість існуючих методів контролю якості замісу негативно позначається на якості спирту та зумовлює додаткові енерговитрати.

У дисертації Л. М. Маркіної обґрунтовано використання густини та в'язкості як інформативних показників для оцінки концентрації розчиненого крохмалю в замісі. Запропонований підхід дозволяє створити сучасну систему автоматичного керування процесом приготування замісу, що сприяє підвищенню ефективності та стабільності виробництва, зниженню витрат ресурсів і забезпеченню високої якості кінцевої продукції.

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

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані у межах науково-дослідних тем кафедри «Автоматизації та комп'ютерно-інтегровані технології» Луцького національного технічного університету, в яких здобувач була безпосереднім виконавцем, а саме:

– «Дослідження термоферментативної обробки зернової сировини на базі нечіткої логіки» (№ 16/03-2014);

– «Розробка, оптимізація та моделювання систем керування виробничими процесами на базі комп'ютерно-інтегрованих технологій» № держреєстрації (0116U001950, 2016–2020 рр.).

Окремі результати дослідження були використані у рамках міжнародного проекту ПЛ-НТУ «Транскордонний обмін досвідом» за Програмою транскордонного співробітництва Польща–Білорусь–Україна (2007–2013 рр.), а також впроваджені у співпраці з Луцьким спиртогорілчанним заводом.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна

Обґрунтованість та достовірність результатів дисертаційної роботи забезпечуються використанням сучасних методів математичного моделювання, синтезом оптимального закону керування, експериментальною перевіркою та аналізом отриманих результатів.

Основні положення та висновки дисертаційної роботи апробовані й отримали позитивну оцінку на низці науково-технічних конференцій, зокрема: XII Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Актуальні проблеми автоматизації та управління» (Луцьк, 2024 р.); VIII Міжнародній науково-технічній конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2024 (Луцьк, 2024 р.); 14-й Міжнародній конференції IEEE DESSERT (Афіни, Греція, 2024 р.); 13-й Міжнародній конференції IEEE DESSERT (Афіни, Греція, 2023 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції «Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування» (Луцьк, 2023 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні тенденції та перспективи розвитку науки, освіти та технологій» (Житомир, 2023 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» (Івано-Франківськ, 2022 р.).

Структура та зміст дисертації.

Дисертація складається з анотації на українській та англійській мовах, списку публікацій здобувача, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і семи додатків.

У вступі висвітлено проблеми, що пов'язані з підвищенням ефективності та стабільності процесу приготування замісу та його водно-теплової обробки, обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та основні завдання дослідження, сформульовано наукову новизну та практичну цінність результатів, наведено дані про їх апробацію, а також відображено особистий внесок здобувача у виконанні наукові праці.

У першому розділі виконано аналіз сучасного стану автоматизації процесу виробництва спирту, зокрема стадії приготування замісу та його водно-теплової обробки. Встановлено, що існуючі системи керування не забезпечують стабільно високого рівня розчинення крохмалю в замісі при зміні властивостей вхідного матеріального потоку, що впливає на зниження якості спирту та підвищує витрати енергоресурсів. Визначено основні причини недостатнього рівня автоматизації, пов'язані зі складними структурними змінами водно-зернової суміші під дією мікробіологічних і термохімічних факторів. Обґрунтовано необхідність впровадження нових підходів до автоматизованого керування, критерієм ефективності яких є стабільність якості замісу при мінімальних енергетичних та матеріальних витратах. Сформульовано завдання дослідження, що полягають у вивченні матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків процесу і розробці нової системи керування на основі показників якості замісу.

У другому розділі викладено результати аналізу процесу приготування замісу та його водно-теплової обробки. Сформовано інформаційну модель

комплексного процесу, що поєднує етапи підготовки замісу та його водно-теплову обробку, а також визначає взаємозв'язок між показниками якості напівпродукту, контрольованими параметрами та збуреннями. Обґрунтовано вибір в'язкості як основного показника якості замісу, що є більш чутливим до зміни концентрації крохмалю та придатним для автоматичного контролю.

Подані результати досліджень дозволили встановити залежності густини та в'язкості замісу від температури та концентрації сухих речовин в замісі, на основі яких було розроблено структуру триконтурну систему автоматичного керування. Обґрунтовано доцільність застосування температури як додаткового інформативного параметра та використання споживаного струму мішалки для непрямого контролю в'язкості. Розроблена система автоматичного керування забезпечує стабілізацію технологічного процесу, підвищення якості підготовки замісу та зменшення витрат матеріальних і енергетичних ресурсів.

У третьому розділі сформовано динамічну модель комплексного процесу приготування замісу та його водно-теплової обробки, яка дала змогу кількісно оцінити ключові параметри - концентрацію розчиненого крохмалю та об'єм замісу. Модель описує зміну об'єму та концентрації під дією змін вхідних потоків і збурень. На основі рівнянь балансу складено математичну модель процесу змішування та подано у просторі станів. Це дозволило розглядати систему автоматичного керування як багатоканальний об'єкт (МІМО) з двома входами (витрати води з ферментом і зерна) та двома виходами (об'єм і концентрація розчиненого крохмалю в замісі).

Для реалізації керування досліджено застосування ПІД-регуляторів. Налаштування яких здійснювалось за трьома методами: Зіглера-Нікольса, відкритого контуру та автоматичного налаштування у MATLAB/Simulink. Під час моделювання використовувались дані з трьох спиртових заводів: Луцького, Борокського та Марилівського. Отримані перехідні характеристики засвідчили наявність перерегулювання та збільшення часу стабілізації регульованих параметрів. Також була проведена симуляція із застосуванням апаратних контролерів DS1104, яка підтвердила, що використання класичних ПІД-регуляторів у багатоконтурній системі не забезпечує належної якості регулювання, оскільки спостерігається значне перерегулювання та збільшення часу регулювання.

Встановлено, що стабільність значення концентрації крохмалю безпосередньо впливає на вихід спирту, а стабільність об'єму замісу – на запобігання його інфікуванню. З огляду на це, автором було прийняте рішення використати LQR-регулятор для підвищення якості автоматичного керування процесом.

У четвертому розділі наведено результати синтезу оптимального LQR-регулятора для автоматизованої системи керування приготування замісу та його водно-теплової обробки. Показано, що застосування даного підходу дозволяє знизити коливання керованих параметрів, скоротити час регулювання та мінімізувати перевитрати, як матеріальних так і енергетичних ресурсів.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили, що розроблена система автоматичного регулювання забезпечує стабільність концентрації розчинення крохмалю незалежно від зміни складу сировини. Встановлено також зменшення відхилення об'єму замісу від нормативних величин завдяки

впровадженню оптимального закону керування, синтезованого методом LQR, який враховує багатоканальність об'єкта, знижує чутливість до збурень та реалізує пріоритетність каналів керування у складі інтегрального квадратичного критерію. Необхідно відзначити, що це унеможливило інфікування замісу і зривів на виробництві.

Отримані результати довели, що використання LQR-регулятора є більш ефективним у порівнянні з класичними ПД-регуляторами, оскільки він забезпечує якісне керування багатоканальною системою, враховує взаємозв'язки між каналами, гарантує стійкість із урахуванням технологічних особливостей процесу виробництва спирту.

Наукова новизна отриманих у роботі результатів, сформульованих положень та висновків

В дисертаційній роботі отримала подальший розвиток теорія автоматизації технологічного процесу виготовлення етилового спирту шляхом використання отриманих залежностей між концентрацією сухих речовин, густиною та в'язкістю замісу, що дало змогу створити ефективні системи автоматичного керування процесом приготування замісу і його водно-теплової обробки.

Дисертантка надала подальший розвиток підходам до моделювання процесу приготування замісу та його водно-теплової обробки, зокрема створила узагальнену модель змішування як об'єкта керування, що забезпечило можливість синтезу оптимальних керуючих впливів і кількісної оцінки інформативних параметрів – концентрації розчиненого крохмалю та об'єму замісу.

Автор дисертації вперше розробив систему автоматичного керування взаємозв'язаним процесом приготування замісу і його водно-теплової обробки, що дало можливість підвищити ефективність технологічного процесу та якість суслу.

Маркіна Л. М. синтезувала LQR-регулятор для автоматизованої системи керування процесом приготування замісу та його водно-теплової обробки, що забезпечило покращення показників якості системи та підвищило швидкодію регулювання об'єму і концентрації розчиненого крохмалю в замісі.

Практичне значення отриманих результатів.

Дисертанткою Маркіною Л.М. проведено порівняльний аналіз функціональних схем автоматизації процесу приготування замісу та розроблено алгоритми, що дали змогу об'єднати всі стадії приготування замісу та його водно-теплової обробки в єдину автоматизовану систему.

Автором запропоновано використання потужності мішалки як непрямого давача в'язкості, що забезпечило ефективний контроль цього критично важливого для стабільності процесу показника.

Експериментально підтверджено доцільність урахування температури та в'язкості в системі регулювання процесу приготування замісу та його водно-теплової обробки.

Дисертанткою досліджено системи керування з використанням ПД-регулятора та LQR-регулятора, що дозволило обрати оптимальний закон

регулювання, який забезпечує високу точність керування та стабільність у динамічних режимах.

Застосування розроблених технічних рішень у виробничих умовах (на Луцькому, Марилівському та Борокському спиртових заводах) підтвердило зниження витрат зерна, ферментів та енергії, а також підвищення загальної ефективності процесу до 5% завдяки стабілізації параметрів замісу та оптимізації водно-теплової обробки.

Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях.

Матеріали дисертації викладені у 23 наукових працях, включаючи 7 статей у фахових наукових виданнях, 2 у наукових періодичних виданнях, які індексовано в наукометричній базі SCOPUS, 12 публікацій у матеріалах міжнародних та вітчизняних конференцій, 2 патенти України на корисну модель.

Автореферат з належною повнотою відображає основні положення та висновки дисертації.

Мова та стиль дисертації.

Дисертація написана державною мовою, грамотно, легко сприймається. Виклад матеріалу в роботі має логічну послідовність, науково грамотний, розділи взаємопов'язані та цілком розкривають поставлену мету. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.13.07 – “Автоматизація процесів керування”.

Після аналізу автореферату та тексту дисертації для прояснення результатів дослідження необхідна додаткова інформація. А саме.

За першим розділом де проведено аналітичний огляд і зроблено постановку задачі дослідження.

1. Прошу пояснити яка наукова малодосліджена “галявина” існує. Необхідне стисле формулювання, який саме пробіл у попередніх роботах зумовлює потребу інтегрованого керування підготовкою замісу разом з його водно-тепловою обробкою як єдиним процесом і як це безпосередньо веде до заявленої мети. Може потрібно додати роз'яснення за схемою “Розрив знань → Мета дослідження → Завдання дослідження”. На мою думку така логіка представлення матеріалу пов'яже огляд літературних джерел із подальшим моделюванням та синтезом регулятора.

2. На мою думку, потрібно зробити попереднє декларування меж валідності дослідження. Було би непогано, виробничі обмеження (режими, робочі точки, геометрія обладнання, припустимі витрати) заявити у четвертому розділі, в першому їх доцільно коротко зібрати як припущення, аби надалі було зрозуміло, в якому діапазоні параметрів справедливі моделі та висновки. Таке викладення матеріалу підсилить зв'язок між оглядом і подальшими експериментами на конкретних виробничих майданчиках.

За другим розділом в якому наведено інформаційну модель, показники якості та функціональну схему наступне потребує уточнення.

3. Що саме є новим у складі інформативних ознак та структурі системи (зокрема, непрямий контроль в'язкості за струмом мішалки та його місце у триконтурному керуванні), та як кожен контур обумовлює досягнення мети, може існує гіперефект (синергетичний) від трьох контурів які керують

процесом одночасно. Було би непогано додати таку інформацію за схемою “Новизна → внесок у мету”.

4. Що в’язкість визначається за потужністю/струмом мішалки, на мою думку потрібно представити градуйовані криві (із компенсацією температури), оцінку похибок і діапазон застосовності для конкретної конструкції мішалки, інакше твердження має декларативний вигляд. Можливо у доповідь потрібно включити графік чутливості та коротку модель невизначеностей.

5. У функціональній схемі доцільно було б показати облік МІМО-взаємодій, запізнень вимірювань/виконавців і фільтрації шумів. На мою думку, саме це робить логічний перехід від локальних PID-контурів до LQR для зчеплених каналів об’єму та концентрації.

За третім розділом в якому наведено узагальнену модель і синтез закону керування (LQR) потрібне додаткове пояснення.

6. На мою думку, щоб наукова новизна моделі була очевидною, пропоную представити зіставлення: які рівняння або зв’язки є стандартними для змішування, а що додано або змінено у запропонованій МІМО-постановці з урахуванням виробничих збурень (разом із методом ідентифікації параметрів). Таке представлення основного здобутку дисертаційної роботи зробить наукову новизну вимірюваною, що дасть змогу і показати числове значення підвищення ефективності.

7. Без сумніву, в тексті гарно аргументована доцільність LQR, однак, на мою думку, корисно представити порівняння PID та LQR за уніфікованим критерієм (t_s , σ -похибка, інтегральні функціонали J). Такий підхід дозволить об’єктивно оцінити ефективність запропонованого регулятора.

8. Оскільки не всі стани безпосередньо вимірні, потребує в доповіді представити стислий опис спостерігача/фільтра станів та узгоджену процедуру добору Q , R (з огляду на співмірність одиниць і вагових коефіцієнтів), аби відтворюваність налаштування LQR у виробництві була гарантованою.

За четвертим розділом в якому наведено матеріали про виробничі випробування та можливу переносимість рішень потрібні додаткові коментарі, які пропоную зробити під час доповіді.

9. У дисертаційній роботі та авторефераті наведено корисний матеріал, а саме, таблиці з матрицями для Луцького, Марилівського, ТОВ “Біопаливно-енергетична компанія”, Борокського заводів. Для системного розуміння виконаної роботи було би логічно представити єдину зведену таблицю з коментарем, як змінюється настроювання LQR між виробництвами, наприклад, (переналаштування Q , R) та параметричним аналізом чутливості. Така запропонована таблиця може додатково зв’язати наукову новизну і практичну значущість роботи.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам ВАК.

Дисертаційна робота **Маркіної Л.М.** „Автоматизація процесів приготування замісу із зернової сировини та його водно-теплової обробки у спиртовому виробництві”, є завершеною науковою роботою, що виконана на високому професійному рівні – науковому та методичному. Отримані авторкою результати вносять вагомий внесок у розвиток автоматизації спиртового виробництва, зокрема стадії приготування замісу та його водно-теплової

обробки. Автореферат повністю відображає основні положення дисертації.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування та вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, зокрема пунктам 9, 11 і 12, а її авторка Маркіна Людмила Миколаївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Завідувач кафедри

програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій,

Національного університету «Одеська політехніка»

Заслужений діяч науки і техніки України,

доктор технічних наук, професор

Максим МАКСИМОВ

Вчений секретар Вченої ради

Національного університету

«Одеська політехніка»



Лада ПРОКОПОВИЧ