

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної
роботи та досліджень
Луцького національного технічного
університету

д.е.н., професор  Олена ЛЮТАК

« 1 »

2025 р.

Висновок

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення дисертації
«Автоматизація процесів приготування замісу із зернової сировини та його
водно-теплової обробки у спиртовому виробництві»
старшого викладача кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
Луцького національного технічного університету
Маркіної Людмили Миколаївни, представленій на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.13.07 Автоматизація процесів керування**

1. Актуальність теми дисертації

Спиртова промисловість є однією з провідних галузей харчової промисловості України і відіграє ключову роль у забезпеченні сировиною таких секторів, як фармацевтичний, харчовий, агропромисловий та паливно-енергетичний комплекси. Технологічний процес виробництва етилового спирту із зернової сировини передбачає складні біохімічні перетворення, зокрема ферментативний гідроліз крохмалю та подальше зброджування цукрів.

Однією з важливих ділянок цього процесу є стадії приготування замісу та його водно-теплова обробка, які спрямовані на забезпечення рівномірного переведення крохмалю в розчинений стан за допомогою теплової обробки. Від ефективності проходження даного етапу залежать стабільність подальших етапів виробництва спирту.

Однак процес приготування замісу супроводжується структурними змінами водно-зернової суміші, які спричинені мікробіологічними та термохімічними змінами і тому спостерігається нестабільність процесу, що ускладнює точне дотримання параметрів відповідно до технологічного регламенту. Відсутність ефективного автоматизованого контролю за показником якості замісу в переважній більшості призводить до порушення технологічних режимів, що в свою чергу негативно відображається на якості етилового спирту та значному перевищенні витрат енергоресурсів.

В переважній більшості показником якості замісу є концентрація розчиненої сухої речовини. Однак даний показник є незручним для вимірювання, вимагає більшого часу для визначення та є непридатним для систем автоматичного керування. Тому виникла проблема, яка призвела до

пошуку такого технологічного параметра, який би був придатний для автоматизованої системи керування процесом приготування замісу.

Відповідно до проведеного аналізу та дослідження процесу приготування замісу та водно-теплової обробки було визначено, що таким показником є густина або в'язкість, які пов'язані з концентрацією розчиненого крохмалю і виникають під час термічної обробки.

Використання одного з цих параметрів для контролю концентрації розчиненого крохмалю в замісі дозволить інтегрувати його в систему автоматичного керування. Тому задача дослідження та розробка нових алгоритмів для системи керування концентрацією розчиненого крохмалю в замісі є актуальною, що дозволить підвищити динаміку зміни параметрів, зменшити витрати вхідних матеріалів та забезпечить стабільність наступних етапів виробництва.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку досліджень кафедри кафедри «Автоматизації та комп'ютерно-інтегровані технології» Луцького національного технічного університету «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» (№ д/р 0116U001950), міжнародному проекту проекту IPBU.03.01.00-06386/11-00 ПЛ-НТУ Транскордонний обмін досвідом в рамках Програми Транскордонного Співробітництва Польща-Білорусь-Україна 2007– 2013.

Тему дисертації «Автоматизація процесів приготування замісу із зернової сировини та його водно-теплової обробки у спиртовому виробництві» затверджено вченою радою Луцького національного технічного університету 24 квітня 2025 р. (протокол № 8).

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Полягає в загальній постановці проблеми та обґрунтуванні мети, визначенні об'єктів і завдань досліджень; створенні й опрацюванні методик експериментів та аналізів; плануванні, виконанні та узагальненні результатів експериментальних досліджень; проведенні аналізів одержаних результатів; визначенні та обґрунтуванні напрямків практичної реалізації результатів досліджень; формулюванні висновків. Внесок автора у вирішення завдань, що виносяться на захист, є основним.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Подані в дисертаційній роботі наукові положення, рішення та висновки є логічними, теоретично обґрунтованими та підтверджуються підтверджується коректним застосуванням концепцій системного аналізу та математичного моделювання; узгодженням отриманих результатів з відомими в літературі

даними; несуперечливістю результатів та задовільною узгодженістю експериментальних і розрахункових даних; практичним підтвердженням одержаних висновків.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

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.

Отримали подальший розвиток підходи до моделювання процесу приготування замісу та його водно-теплової обробки, зокрема створено узагальнену модель змішування як об'єкту керування, що забезпечило можливість синтезу керуючих впливів і кількісної оцінки інформативних параметрів: концентрації крохмалю та об'єму замісу.

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

Синтезовано 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.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Статті у наукових виданнях, включених у бази даних Scopus та Web of Science

1. Gumeniuk L., Markina L., Satsyk V., Humeniuk P., Lashch A. Application of multi-agent programming for modeling the viscosity state of mash in alcohol production. *Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. 2025. Vol. 15, No. 1. P. 27–32.

2. Markina L., Palchevskiy B., Hrudetskyi R., Smoliankin O., Melnychuk Y., Khrystynets N. Optimization of Ethanol Production Using State-Space Modeling and Optimal Control Technology, 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens, Greece, 2023, pp. 38-45.

Статті у наукових фахових виданнях України

3. Пальчевський Б. О., Маркіна Л. М., Сазик В. О. Вибір показників якості підготовки крохмалевмісного замісу автоматичного керування процесом. *Перспективні технології та прилади*, м. Луцьк, грудень 2024 р. Луцьк: ЛНТУ, 2024. С. 111-117.

4. Пальчевський Б. О., Маркіна Л. М. Інтелектуальна система керування процесом приготування замісу і його водно-теплової обробки при виробництві

спирту. Наукові нотатки, Вип. 75, Луцьк, 2023. С. 22-26.

5. Пальчевський Б. О., Маркіна Л. М. Оптимізація процесу керування приготуванням замісу в спиртовому виробництві. Перспективні технології та прилади, Вип. 20, м. Луцьк, червень 2022 р. Луцьк: ЛНТУ, 2022. С. 82-87.

6. Маркіна Л. М., Сазик В. О., Смолянкін О. О. Використання нечіткої логіки в системі автоматичного регулювання концентрації замісу при виробництві спирту. Перспективні технології та прилади, Вип. 19, м. Луцьк, грудень 2021 р. Луцьк: ЛНТУ, 2021. С. 78-84.

7. Смолянкін О. О., Маркіна Л. М. Моделювання процесу замісу у змішувальному баку при виробництві спирту. World Science, № 6 (34), Vol. 2, June 2018. С. 52-56.

8. Кузьмич О. І., Маркіна Л. М., Якимчук Л. М. Моделювання та розробка системи керування процесом змішування на базі процесу водно-теплової обробки при виробництві спирту. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, № 30-31, Луцький НТУ, 2018. С. 220-227.

9. Маркіна Л. М., Городинський Д. С. Методи нечіткої логіки в управлінні процесом водно-теплової обробки при виробництві спирту. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, № 12, 2013. С. 123-128.

Тези доповідей на наукових конференціях, симпозіумах та семінарах

10. Мачуга О. І., Решетило О. М., Смолянкін О. О., Маркіна Л. М., Сазик В.О. Аспекти підвищення ефективності виробництва спирту завдяки автоматизації технологічного процесу приготування замісу. Актуальні проблеми автоматизації та управління, матер. XII Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., м. Луцьк, 30 листопада 2024 р., Вип. 12, Луцьк, 2024. С. 41-44.

11. Маркіна Л. М., Гуменюк Л. О., Сазик В. О., Гуменюк П. О. Застосування штучного інтелекту в моделюванні в'язкості замісу спиртового виробництва на основі мультиагентних систем. Збірник наукових праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2024, Луцьк, Україна, 28–30 травня 2024 р. Луцьк: ЛНТУ, 2024. С. 11-13.

12. Маркіна Л. М. PID регулятори в системах автоматичного регулювання. Прогресивні напрямки розвитку автоматизованих технологічних комплексів, зб. наук. праць VIII Міжнар. наук.-техн. конф. ТК-2024, м. Луцьк, 28-30 травня 2024 р. Луцьк: ЛНТУ, 2024. С. 39-40.

13. Lyudmila Markina, Viktor Satsyk, Oleksandr Reshetylo, Roman Hrudetskyi, Oleh Smoliankin and Nadiia Kuts. "Effective Ethanol Production Based on Intelligent Robust Control", Published in: Conference Program – 2024 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens, Greece, October 11-13, 2024, Conference Timetable: p.2 - FRIDAY 11 OCTOBER 2024, paper ID 129.

14. Пальчевський Б. О., Маркіна Л. М. Основні принципи автоматичного керування процесом підготовки крохмалевмісного замісу для виробництва спирту. Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування, матер. IX Міжнар. наук.-практ. конф., м. Луцьк, 30 травня-1 червня 2023 р. Луцьк, 2023. С. 30-33.

15. L. Markina, B. Palchevskyi, R. Hrudetskyi, O. Smoliankin, Y. Melnychuk

and N. Khrystynets, "Optimization of Ethanol Production Using State-Space Modeling and Optimal Control Technology," Published in: Conference Program - 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens, Greece, October 13-15, 2023, Conference Timetable: p.2 - FRIDAY 13 OCTOBER 2023, paper ID 6224.

16. Маркіна Л. М. Комп'ютерні технології для дослідження систем автоматичного регулювання. Сучасні тенденції та перспективи розвитку науки, освіти та технологій, зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., Житомир, 10 квітня 2023 р. Житомир, 2023. С. 57-58.

17. Маркіна Л. М. Особливості автоматизації водно-теплової обробки при виробництві спирту. Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості», 13 жовтня 2022 р., Івано-Франківськ.

18. Сацик В. О., Маркіна Л. М., Плахотна А. О. Роль виконавчих механізмів у формуванні закону регулювання на прикладі водно-теплого балансу змішувача при виробництві спирту. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління». – Вип. 4. Луцьк: Луцький НТУ, 2016. С. 47-53.

19. Маркіна Л. М., Сацик В. О. Дослідження рівнів автоматизації процесу виробництва спирту на якість кінцевого продукту Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління». – Вип. 3. Луцьк: Луцький НТУ, 2015. С. 17-21.

20. Маркіна Л. М. Аналіз автоматизованих систем управління при виробництві спирту. Актуальні проблеми автоматизації та управління : Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. молодих учених та студентів. Вип. 1. Луцьк: Луцький НТУ, 2014. С. 82–86.

21. Маркіна Л. М. Модель регулювання концентрації зернових замісів. Актуальні проблеми автоматизації та управління : Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. молодих учених та студентів. Вип. 1. Луцьк : Луцький НТУ, 2014. С. 70–76.

Патенти

22. Пальчевський Б. О., Маркіна Л. М. Спосіб автоматичного керування приготуванням замісу при виробництві етилового спирту із крохмальовмісної сировини: пат. № UA151663; заявка № u202200653; заявл. 14.02.2022; опубл. 25.08.2022, Бюл. № 34.

23. Пальчевський Б. О., Маркіна Л. М. Спосіб автоматичного керування приготуванням замісу при виробництві етилового спирту із крохмаловмісної сировини: пат. № UA152727; заявка № u202202896; заявл. 12.08.2023; опубл. 05.04.2023, Бюл. № 14.

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо:

Результати, отримані в дисертаційній роботі, були апробовані та

позитивно оцінені на ряді науково-технічних конференцій, а саме: XII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Актуальні проблеми автоматизації та управління», м. Луцьк, 30 листопада 2024 р.; VIII Міжнародна науково-технічна конференція з проблем вищої освіти і науки ТК-2024, Луцьк, 28–30 травня 2024 р.; VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивні напрямки розвитку автоматизованих технологічних комплексів» ТК-2024, Луцьк, 28–30 травня 2024 р.; 14-та Міжнародна конференція IEEE DESSERT, Афіни, Греція, 11–13 жовтня 2024 р.; 13-та Міжнародна конференція IEEE DESSERT, Афіни, Греція, 13–15 жовтня 2023 р.; 14-та Міжнародна конференція IEEE DESSERT, Афіни, Греція, 11–13 жовтня 2024 р.; IX Міжнародна науково-практична конференція «Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування», Луцьк, 30 травня – 1 червня 2023 р.; Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні тенденції та перспективи розвитку науки, освіти та технологій», Житомир, 10 квітня 2023 р.; Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості», Івано-Франківськ, 13 жовтня 2022 р.

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

У дисертаційній роботі проведено вивчення підходів до автоматизації процесів приготування замісу із зернової сировини та його водно-теплової обробки на основі методів оптимального керування з урахуванням динамічних властивостей об'єкта.

Результати дисертаційної роботи використані у навчальному процесі кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету при вивченні навчальних дисциплін: «Теорія автоматичного керування», «Автоматизація технологічних процесів та виробництв для студентів за освітньою програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Проведений порівняльний аналіз функціональних схем автоматизації процесу приготування замісу та розроблено і реалізовано алгоритми, що дали змогу об'єднати всі стадії приготування замісу та його водно-теплової обробки в єдину автоматизовану систему.

Використання потужності мішалки як непрямого давача в'язкості забезпечило можливість ефективного контролю показника, який є критично важливим для стабільності процесу приготування замісу.

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

Досліджено системи керування з застосуванням PID-регулятора і LQR-регулятора, що дозволило обрати закон регулювання який забезпечує точність регулювання та підвищує якість керування у динамічних режимах.

Застосування розроблених рішень у виробничих умовах (зокрема на Луцькому, Марилівському та Львівському спиртових заводах) підтвердило зниження витрат зерна, ферментів і енергії, а також підвищення ефективності процесу на 5% за рахунок стабілізації параметрів замісу та оптимізації водно-теплової обробки

Результати досліджень застосовані на підприємстві ТОВ «ВЕСТ ВЕЙ», яке займається виробництвом етилового спирту та лікero-горілчаних виробів.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. У першому розділі подано огляд літературних джерел, які висвітлюють стан автоматизації процесу підготовки замісу із зернової сировини у спиртовому виробництві. У другому розділі сформовано залежність концентрації розчиненого крохмалю в замісі від густини, в'язкості, а також температури, що дало можливість обрати координати керування та розробити багатоконтурну систему керування процесом приготування замісу і його водно-теплової обробки. У третьому розділі запропоновано підхід до моделювання процесу приготування замісу та його водно-теплової обробки, розроблено систему автоматичного керування взаємоз'язаним процесом із застосування класичних регуляторів. У четвертому розділі представлені результати застосування запропонованого LQR-регулятора для автоматизованої системи автоматичного керування процесом приготування замісу та його водно-теплової обробки із забезпеченням покращення показників якості системи, підвищенням швидкодії регулювання об'єму та концентрації розчиненого крохмалю в замісі.

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

11. Відповідність дисертації паспорту спеціальності, за якою вона представлена до захисту

Дисертаційна робота Маркіної Людмили Миколаївни на тему: «Автоматизація процесів приготування замісу із зернової сировини та його водно-теплової обробки у спиртовому виробництві» виконана на високому науковому рівні, є актуальною, має значне теоретичне та практичне значення та відповідає паспорту спеціальності 05.13.07 Автоматизація процесів керування

У ході обговорення дисертаційної роботи до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

12. З урахуванням зазначеного, ухвалили:

Дисертаційна робота Маркіної Людмили Миколаївни «Автоматизація

процесів приготування замісу із зернової сировини та його водно-теплової обробки у спиртовому виробництві» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано важливу науково-технічну – підвищення ефективності виготовлення етилового спирту із зернової суміші шляхом забезпечення стабільності параметрів на початковій стадії підготовки зерна та приготування замісу.

Рекомендації до захисту. Враховуючи завершеність дослідження, його актуальність, наукову новизну, практичну цінність, достатню кількість публікацій, об'єднаний науковий семінар рекомендує дисертаційну роботу МАРКІНОЇ Л.М., «Автоматизація процесів приготування замісу із зернової сировини та його водно-теплової обробки у спиртовому виробництві» до захисту в спеціалізовану вчену раду Д 35.052.04 Національного університету "Львівська політехніка" на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

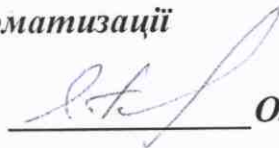
У 23 наукових працях повністю відображені основні результати дисертації, з них 7 статей у фахових наукових виданнях, 2 у наукових періодичних виданнях, які включено до наукометричної бази SCOPUS, 7 статей за результатами участі на наукових конференціях та 2 патенти України на корисну модель 5 тез доповідей на конференціях.

Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

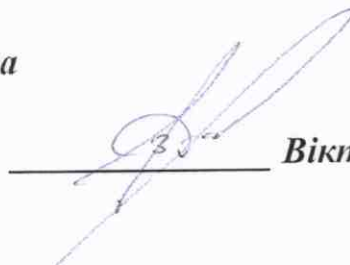
З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Маркіної Людмили Миколаївни дисертаційна робота «Автоматизація процесів приготування замісу із зернової сировини та його водно-теплової обробки у спиртовому виробництві» рекомендується для подання до розгляду у спеціалізовану вчену раду.

Рецензенти:

**Професор, завідувача кафедри автоматизації
та комп'ютерно-інтегрованих
технологій, д.т.н., професор**

 **Олександр ПОВСТЯНОЙ**

**Доцент кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих
технологій, к.с.-г.н., доцент**

 **Віктор САЦИК**

« 1 » 05 2025 р.