Спеціалізованій вченій раді Д 18.819.01 в
Таврійському державному агротехнологічному
університеті імені Дмитра Моторного

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, старшого наукового співробітника **Братішка Вячеслава Вячеславовича** на дисертаційну роботу **Ковальова Олександра Олександровича** на тему: **«Обґрунтування параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків»**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

1. Актуальність теми дисертації

Молоко є цінним харчовим продуктом та важливою сировиною для переробної промисловості України. При цьому операція гомогенізації поліпшує якість молока, сприяє повнішому засвоюванню складових молочних продуктів організмом людини, поліпшенню сенсорних та смакових якостей молока, зменшенню втрат молочного жиру тощо. Гомогенізація молока стала нормативним процесом у більшості сучасних технологічних схем виробництва молочних продуктів, зокрема, питного стерилізованого та пастеризованого молока, кисломолочних продуктів, морозива, молочних консервів, сиру тощо.

Особливістю процесу гомогенізації молока є його висока питома енергоємність. Частка витрат на гомогенізацію серед загальних витрат електроенергії технологічним обладнанням молокопереробних підприємств може сягати є 35%, а питомі енерговитрати найбільш поширених у промисловості клапанних гомогенізаторів становлять 6-7 кВт·год/т.

А отже, зменшення питомих енерговитрат на процес гомогенізації молока при забезпеченні нормативних значень якісних показників виконання цієї операції є актуальним завданням.

2. Зв’язок дисертаційної роботи з державними науковими програмами, планами, темами, пріоритетними напрямами розвитку науки і техніки

Дисертаційна робота виконана у відповідності до тематики науково-дослідних робіт «Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції» (ДР № 0111U002551) та «Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції та процесів і обладнання харчових виробництв» (ДР № 0116U002730), що виконувались у Таврійському державному агротехнологічному університеті імені Дмитра Моторного у 2010-2015 та 2016-2020 рр. відповідно.

3. Ступень обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій та їх достовірність

Завдання дисертаційної роботи є обґрунтованими, прийняті припущення та вихідні положення – аргументованими. Висновки, рекомендації та пропозиції обґрунтовані теоретично і підтверджені експериментально, а отже є достовірними.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень і висновків, сформульованих у дисертаційній роботі, підтверджується застосуванням математичних положень методів аналітичного й фізичного моделювання та планування багатофакторних експериментів, достатньою збіжністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень, а також завдяки використанню сучасних вимірювальних комплексів та апробованих методик досліджень.

Перший висновок базується на аналізі існуючих гіпотез, механізмів та конструкцій технічних засобів для гомогенізації молока.

Другий висновок ґрунтується на результатах теоретичних досліджень процесу гідродинамічного диспергування жирової фази молока в струминно-щілинному гомогенізаторі з роздільною подачею вершків.

Третій висновок підтверджується результатами експериментальних досліджень процесу диспергування жирових кульок у струминно-щілинному гомогенізаторі.

Четвертий висновок підтверджується узагальненими результатами теоретичних та експериментальних досліджень, а також виробничої перевірки витрати розробленого гомогенізатора.

П'ятий висновок ґрунтується на результатах впровадження спроектованого зразка гомогенізатора. Показники техніко-економічної оцінки базуються на результатах порівняльного техніко-економічного аналізу показників роботи розробленого та існуючого гомогенізаторів.

4. Повнота викладу матеріалів дисертації у наукових працях

За результатами наукових досліджень автором опубліковано 47 наукових праць, які достатньо повно відображають основні положення дисертації. Серед них 19 статей у фахових періодичних виданнях України, 7 статей у наукових періодичних виданнях інших держав та у наукових періодичних виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, 5 – у зарубіжних виданнях, 6 патентів України та 15 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

5. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

Наукова новизна результатів дисертаційних досліджень полягає в розв'язанні науково-технічної задачі щодо зниження енергоємності процесу

гомогенізації при збереженні високих показників якості процесу, вирішення якої ґрунтується на науковій гіпотезі, яка полягає в можливості зниження енерговитрат на процес гомогенізації молока за рахунок подачі струменя вершків у потік знежиреного молока крізь вузьку кільцеву щілину.

Автором вперше було розроблено математичну модель гомогенізації молока в струминно-щілинному гомогенізаторі з роздільною подачею вершків, що дозволило визначити раціональні параметри процесу та підвищити енергоефективність диспергування.

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень процесу гомогенізації жирової фази молока при струминно-щілинній гомогенізації з роздільною подачею вершків, автором було удосконалено теорію гідродинамічного диспергування молочної емульсії, яка ґрунтується на кореляції відносної швидкості дисперсійної та дисперсної фаз і критерію Вебера за рахунок врахування параметрів впливу кільцевої щілини, а також уточнено математичну модель гомогенізації молока в гомогенізаторах струминно-щілинного типу за рахунок одночасного проведення диспергування та нормалізації молочної емульсії за жирністю.

6. Цінність дисертаційної роботи для науки та практики

Отримані автором в процесі дисертаційних досліджень науково-практичні результати дозволили визначити критичне значення критерія Вебера для гомогенізації молока в струминно-щілинному гомогенізаторі, що дає можливість прогнозувати показники якості струминної гомогенізації при проектуванні технічних засобів такого типу. Автором також були встановлені раціональні технологічні, конструкційні та гідравлічні параметри гомогенізатора молока струминно-щілинного типу, застосування яких дозволяє забезпечити підвищення енергоефективності процесу гомогенізації та отримання дрібнодисперсної емульсії.

Застосування розробленої методики розрахунку дозволило спроектувати промисловий зразок струминно-щілинного гомогенізатора молока, практичне застосування якого дозволяє знизити середні питомі енергетичні витрати на процес гомогенізації не вище 0,80 кВт·год/т в діапазоні технологічної продуктивності 1-10 т/год.

Розроблені автором методика розрахунку та конструкційно-технологічне рішення макетного промислового зразка гомогенізатора було впроваджено у ПП ВКФ «Харчоналадка», а сам макетний зразок впроваджено до виробництва на МЖК «Південний».

Технічні рішення, отримані в результаті виконання наукових досліджень захищені 6 патентами України та корисні моделі.

Результати дисертаційних досліджень знайшли впровадження у навчальному процесі Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного при викладанні дисципліни «Технологічне обладнання переробних і харчових виробництв», «Процеси і апарати харчових виробництв».

7. Ідентичність змісту автореферату та основних положень дисертації

У авторефераті здобувач чітко відобразив основний зміст роботи, розкрив основні положення, які містять характеристику дисертації та навів висновки. В авторефераті наведено список праць за темою роботи із зазначенням внеску автора у праці, що написані у співавторстві, а також висвітлені в анотації в необхідному обсязі. Зміст, обсяг та оформлення автореферату відповідає вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій. Положення і висновки, наведенні в авторефераті і в дисертації ідентичні.

8. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 10 додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 228 сторінок. Основна частина роботи викладена на 171 сторінці комп'ютерного тексту, містить 37 рисунків та 6 таблиць. Список використаних джерел складається з 208 найменування, з них 44 – латиницею.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про їх практичну реалізацію.

У **першому розділі** «Стан питання, мета і задачі дослідження» проведено аналіз літературних джерел, результати якого дозволили втору зробити висновок про відсутність енергоефективних конструкцій, які здатні забезпечити зменшення середнього діаметра жирових кульок до технологічно обумовлених показників при суттєвому зниженні питомих витрат енергії відносно показників клапанних гомогенізаторів. Результати наведеного аналізу також дозволили виділити критерій Вебера в якості чинника, що відіграє визначальну роль в диспергуванні дисперсної фази молочної емульсії, та встановити що підвищення енергоефективності гомогенізації можливо досягти за рахунок створення максимальної різниці між швидкостями дисперсійної і дисперсної фаз, що найкраще реалізується в гомогенізаторах струминного типу при забезпеченні роздільної подачі знежиреного молока та вершків. В розділі наведено аналіз конструкційно-технологічних рішень гомогенізаторів та визначено доцільність подальших досліджень гомогенізаторів струминно-щілинного типу. В розділі також визначено мету та сформульовано основні задачі наукових досліджень.

У **другому розділі** «Теоретичні основи процесу струминно-щілинної гомогенізації молока» наведено результати проведених аналітичних досліджень процесу гомогенізації, зокрема, встановлені залежності між параметрами процесу та його якісними і енергетичними характеристиками. Встановлено, що основним фактором руйнування жирових кульок є сила опору, яка виникає за рахунок різниці швидкостей руху жирової кульки та потоку знежиреного молока. Визнано доцільним використовувати критерій Вебера як узагальнюючу змінну для розрахунку середнього діаметра жирових кульок при диспергуванні молока. Проведено аналіз сил та механізмів руйнування жирової кульки та встановлено вирішальну роль тангенційних напружень в процесі диспергування. Наведено результати моделювання процесу диспергування в програмному комплексі ANSYS та знайдені математичні залежності для визначення середнього діаметра жирових кульок, потужності, продуктивності та питомих енерговитрат струминно-щілинного гомогенізатора з роздільною подачею вершків.

У **третьому розділі** «Програма та методика теоретичних та експериментальних досліджень» описані методи дослідження, що застосовувались для експериментальної перевірки адекватності та уточнення залежностей, отриманих в результаті аналітичних досліджень. Наведено межі варіювання факторів та програму експериментальних досліджень, а також загальний вигляд та опис лабораторної установки для дослідження процесу струминно-щілинної гомогенізації молока.

У **четвертому розділі** «Експериментальні дослідження процесу струминно-щілинної гомогенізації молока» наведено результати експериментальних досліджень, що підтверджують визначальну роль різниці швидкостей руху дисперсійної та дисперсної фаз у забезпеченні якісних показників роботи струминно-щілинного гомогенізатора. В розділі наведено отримані емпіричні рівняння для визначення показників процесу роботи досліджуваного гомогенізатора. Встановлено, що підвищення ефективності гомогенізатора можна досягати шляхом зменшення швидкості струменю, при одночасному збільшенні жирності жирової фази і ширини кільцевої щілини для подачі вершків.

У **п’ятому розділі** «Практична реалізація результатів досліджень» на основі узагальнення теоретичних та експериментальних досліджень наведено методику розрахунку промислового зразка розробленого гомогенізатора. Встановлено, що розроблений зразок гомогенізатора молока продуктивністю 2500 кг/год зі встановленою потужністю електродвигуна 8 кВт дозволяє отримати молоко жирністю 2-4 % при забезпеченні середнього діаметру жирових кульок на рівні 0,75-0,80 мкм та питомих енерговитратах не більше 0,80 кВт·год/т.

Наведена в розділі порівняльна характеристика перспективних видів гомогенізаторів показує, що питомі витрати енергії розробленого гомогенізатора на 8% нижче ніж у струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків та у 10 разів нижче в порівнянні з клапанним гомогенізатором при заданому розмірі жирових кульок. Економічний ефект від впровадження розробленого гомогенізатора молока складає 238 тис. грн та обумовлюється зниженням експлуатаційних витрат на 40% і питомих витрат енергії на 59%, при терміні окупності витрат, що не перевищує 0,36 роки.

Додатки містять дані щодо фізико-механічних властивостей об'єктів досліджень, особливостей техніко-технологічного забезпечення процесу гомогенізації, розрахунку економічної ефективності впровадження струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків та документів (акти, протоколи, патенти, свідоцтва), що стосуються апробації, впровадження та інтелектуального захисту результатів дисертаційних досліджень.

Матеріали розділів дисертації подано у логічній послідовності відповідно до сформульованих задач досліджень.

9. Зауваження до дисертації

Зауваження до анотації та вступу:

1) Окремі терміни та вирази в тексті дисертації, як то «коефіцієнт витрат внутрішніх торцевих поверхонь конфузора та дифузора», «рух дисперсійної та дисперсної фаз, що відбувається за критерієм Вебера», «обґрунтовано вибір раціонального методу визначення якості гомогенізації», «емпіричні рівняння для визначення коефіцієнта СЩГРВ» потребують уточнення та/або редакційного коригування.

Зауваження до розділу 1 дисертації:

2) Значення в'язкості молока, наведені на с. 40 та у таблиці 1.1 не співпадають.
3) Якщо середнє значення коефіцієнту корисної дії клапанних гомогенізаторів становить 78% за рахунок чого вдалося в рази зменшити питомі енерговитрати на процес гомогенізації?
4) Висновок про перспективний напрям зниження енергоємності процесу роботи струминних гомогенізаторів на основі вдосконалення конструкцій міні-міксерів передує аналізу їх використання (с. 65).

Зауваження до розділу 2 дисертації:

5) На с. 68 йдеться про «незначну величину тиску в основній ділянці камери гомогенізатору», на с. 70 про «градієнт швидкості в напрямку перпендикулярному до стінки», на с. 78 про те, що «дисперсна фаза під дією Архімедової сили піднімається та попадає в зону інтенсивного перемішування» і т.і. Відсутність конструкційно-технологічної схеми досліджуваного гомогенізатора ускладнює сприйняття цих даних.

6) На с. 71 відсутня розмірність градієнту швидкості. Не вповні зрозуміло до якої конструкційно-технологічної схеми (та параметрів) справедливі ці дані.
7) Бажано конкретизувати яка сила чи взаємодія є причиною утворення різниці швидкостей дисперсійної та дисперсної фаз (різниці швидкості жирової кульки в середовищі та швидкості руху середовища).
8) З твердження «при подаванні в СЩГРВ вершків середньої жирності (25–30%) плазма, що входить до складу знежиреного молока та вершків у емульсії матиме однакову швидкість» та подальших (с. 85) можна зробити висновок, що швидкість плазми (середовищ) залежить лише від жирності вершків.
9) Не вповні зрозумілим є функціональний взаємозв'язок між складовими показника $k_щ$: жирністю вершків, шириною щілини та швидкістю струменю вершків.
10) Бажано більш докладно висвітлити метод визначення енерговитрат, застосований у підрозділі 2.6 роботи.
11) У підрозділах 2.5-2.7 бажаним було б врахування особливостей гомогенізатора пропонованої конструкції, наприклад, впливу на показники продуктивності та енергоємності досліджуваного показника $k_щ$.

Зауваження до розділу 3 дисертації:

12) Наведену на рис. 3.2 схему струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків доречно було б представити наприкінці першого або на початку другого розділу дисертації.
13) «Потужність насосів подачі знежиреного молока та вершків» (с. 112) не може виступати показником (критерієм) при приведенні експериментальних досліджень. В даному випадку скоріше йдеться про встановлену потужність, необхідну потужність тощо.

Зауваження до розділу 4 дисертації:

14) Замість виразу «дисипація потужності» (с. 124) бажано використовувати «дисипація енергії».
15) Твердження (с. 131) «найменші енергетичні витрати забезпечуються при використанні щілини, ширина якої дорівнює h=0,6–0,8 мм» та «при використанні щілини, ширина якої складає h=0,9 мм, питомі енерговитрати мають тенденцію до зниження» суперечать одне одному.

Зауваження до розділу 5 дисертації:

16) Чи є обраний для порівняння клапанний гомогенізатор (а не протитечійно-струменевий, наприклад), найбільш близьким за конструкційно-технологічною схемою до досліджуваного?

Загальні зауваження до дисертації:

17) Перший розділ міг би бути збагачений наведенням конструкційно-технологічних схем гомогенізаторів поширених типів.

18) В тексті роботи зустрічаються поодинокі неузгодженні речення, описки та русизми.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи та її наукову цінність.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота **Ковальова Олександра Олександровича** на тему **«Обґрунтування параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків»** за формою і змістом є завершеною самостійною науковою працею, що містить обґрунтовані наукові результати, які розв'язують поставлене наукове завдання, що має істотне значення в галузі технічних наук, за змістом і структурою відповідає паспорту спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва, а також вимогам пп. 9, 11-13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а її автор – **Ковальов Олександр Олександрович** – заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
декан механіко-технологічного факультету
Національного університету
біоресурсів і природокористування України В.В. Братішко

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
начальник відділу кадрів
М.В. Михайліченко
2022 р.