

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора фізико-математичних наук, професора Гаврюшенка Дмитра Анатолійовича на дисертаційну роботу кандидата технічних наук **Самойленко Катерини Миколаївни на тему «Наукові засади створення енергоефективних теплотехнологій отримання білкововмісних продуктів»**, представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Дисертаційна робота Самойленко К.М. присвячена дослідженню тепломасообмінних процесів під час сушіння білкововмісної сировини тваринного та рослинного походження, визначенню теплофізичних характеристик досліджуваних матеріалів та розробці енергоефективних теплотехнологій отримання сухих харчових продуктів з підвищеним вмістом білка. Задача має безсумнівну актуальність, оскільки процеси сушіння залишаються одними з найбільш енергоємних у харчовій промисловості, а для білкововмісних матеріалів додатково ускладнюються структурними перетвореннями, зміною стану води, можливістю денатурації білкових компонентів та погіршенням регідратаційних властивостей продукту.

Метою дисертаційної роботи Самойленко К.М. є застосування теорії тепломасообміну переробки білкововмісної сировини тваринного та рослинного походження, створення енергоефективних теплотехнологій отриманням харчових порошків високої біологічної цінності.

1. Актуальність теми дослідження

В основі технології переробки сільськогосподарської сировини на висушені продукти є процеси сушіння, які суттєво впливають як на енергетичні показники, так і на якість кінцевого продукту. Запровадження сучасних теплотехнологій із зменшенням енерговитрат на процес з максимальним збереженням біологічно активних речовин є вимогами сьогодення. Для вирішення проблеми енергоефективності теплотехнологій необхідно вирішувати, перш за все, задачу збільшення ефективності процесів зневоднення. Сушіння є складним та енергоємним процесом, який потребує постійного дослідження для створення та подальшого впровадження сучасних енергоефективних теплотехнологій, які забезпечують скорочення витрат енергоносіїв.

Саме на такі завдання направлена дисертаційна робота «Наукові засади створення енергоефективних теплотехнологій отримання білкововмісних продуктів», в якій представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень підготовки сировини до зневоднення із урахуванням властивостей матеріалу, тепломасообміну при сушінні білкововмісної сировини, а також визначення теплофізичних, фізико-хімічних властивостей з подальшою розробкою теплотехнології отримання

bx. 145
30.04.25

натуральних сухих продуктів з підвищеним вмістом білку. Задача має безсумнівну актуальність, оскільки процеси сушіння залишаються одними з найбільш енергоємних у харчовій промисловості, а для білкововмісних матеріалів додатково ускладнюються структурними перетвореннями, зміною стану води, можливістю денатурації білкових компонентів та погіршенням регідратаційних властивостей продукту. Особливий інтерес з точки зору теоретичної теплофізики становить спроба дисертанта описати вплив стану води в середовищі, побудувати узагальнюючий критерій та чисельну модель процесу сушіння.

На основі результатів комплексу виконаних експериментальних досліджень Самойленко К.М. встановлено закономірності впливу попередньої підготовки білкововмісної сировини до сушіння на тепло- та вологообмін в матеріалі і розроблені режимні параметри обробки, які дозволили зменшити енерговитрати на 25 % при сушінні на дослідно-промисловій камерній сушарці із збереженням якості кінцевої продукції.

Тому наукова робота є актуальною і важливою як з точки зору підвищення енергоефективності, так і створення нових натуральних продуктів швидкого приготування на основі білкововмісної сировини.

2. Коротка характеристика змісту роботи

Дисертація має структуру завершеної науково-дослідної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел з 209 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг роботи дисертаційної становить 335 сторінок машинописного тексту, у тому числі 243 сторінки основного тексту. Робота містить 160 рисунків, 22 таблиці.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, обґрунтовано наукову новизну, теоретичну і практичну цінність одержаних результатів, визначено особистий внесок здобувача. Наведено інформацію щодо апробації, структури і обсягу дисертації.

У першому розділі наведено результати аналізу літературних джерел щодо перспективи виробництва білкововмісних харчових порошоків з м'яса свинини, яловичини та культивованих грибів ерінги, шиїтаке, глива, печериця звичайна; особливостей розробки підготовки сировини до зневоднення, проаналізовано процеси тепломасообміну при сушінні білкововмісної сировини з точки зору енергоощадності процесу та збереження біологічно активних речовин нативної сировини.

У другому розділі детально описано методи дослідження, обґрунтовано вибір об'єктів дослідження харчової білкововмісної сировини, яка виробляється в Україні та є перспективною для виробництва білкововмісних продуктів, наведено її характеристики. Для теоретичних та експериментальних досліджень було обрано: м'ясна сировина – свинина, яловичина, культивовані гриби – ерінги, глива, печериця звичайна. Наведено принцип дії та характеристики експериментальних установок, методики

визначення кінетики сушіння, зневоднення, теплофізичних параметрів, сорбційних характеристик, активності води та дисперсного складу.

У третьому розділі наведено результати аналітичних та експериментальних досліджень кінетики сушіння білкововмісної сировини, розглянуто попередню підготовку матеріалу до зневоднення, визначено оптимальні режими сушіння, досліджено теплоту випаровування, теплоємність та стан води в тканинах культивованих грибів, а також запропоновано чисельну модель тепломасопереносу.

Застосування комбінованого та конвективного двостадійного способів зневоднення білкововмісної сировини дозволяє зменшити тривалість сушіння у 1,5-1,7 разів у порівнянні із режимом за температури 60 °С. На основі експериментальних досліджень м'яса та культивованих грибів вперше було розроблено спосіб одержання сушеного м'ясного гранульованого продукту, який містить у своєму складі: м'ясо 60%, гриби 20%, моркви і селери по 10%.

Оскільки розробка теплотехнології сушіння грибів потребує глибокого вивчення механізму та енергетики процесу їх зневоднення, було вперше досліджено відповідні теплофізичні характеристики. Отримані результати визначення питомої теплоти випаровування підтверджують, що під час зневоднення культивованих грибів суттєве зростання енерговитрат спостерігається вже на початкових етапах сушіння. Зокрема, ще до досягнення тканинами гігроскопічної вологості питома теплота випаровування на 10% перевищує табличне значення для випаровування води з вільної поверхні, тоді як спроби подальшого сушіння за межами гігроскопічної вологості супроводжуються її різким збільшенням.

Вперше досліджено теплоємність культивованих грибів і встановлено, що її значення, розраховані за запропонованою формулою, добре узгоджуються з експериментальними даними

Розроблено фізичну та математичну модель процесу сушіння сировини на прикладі культивованих грибів. Із використанням запропонованої моделі розраховано розподіл температури за товщиною зразка в різні моменти часу, а також часову залежність температури культивованих грибів ерінги під час сушіння. Показано, що розрахункові значення усередненої температури достатньо добре узгоджуються з експериментальними результатами. Встановлено, що найбільш інтенсивна зміна температури відбувається протягом перших 20 хв процесу, а найбільш інтенсивне зменшення вологовмісту матеріалу — протягом перших 30 хв.

Результати чисельного моделювання конвективного сушіння культивованих грибів засвідчили задовільне якісне узгодження розрахункових і експериментальних даних. Це дає підстави використовувати запропоновану розрахункову модель для наближеного визначення основних характеристик процесу сушіння білковмісної сировини.

У четвертому розділі розглянуто результати досліджень на дослідно-промисловій камерній сушарці з комбінованим нагрівом теплоносія, оцінено енерговитрати процесу та коефіцієнт корисної дії сушарки.

За результатами дослідження кінетики сушіння м'ясної сировини зі зміною та без зміни напрямку потоку теплоносія встановлено, що використання цього способу дозволяє зменшити тривалість процесу на 50 хв, або на 20%. Обґрунтовано, що зміну напрямку потоку теплоносія доцільно здійснювати через 120 хв від початку сушіння, тобто в області зниження інтенсивності видалення вологи з матеріалу.

Для підвищення інтенсивності зневоднення культивованих грибів на дослідно-промисловій камерній сушарці досліджено конвективний режим сушіння при 60°C та комбінований інфрачервоно-конвективний режим 3800 Вт/м² за температури 60°C. Показано, що використання розробленого комбінованого режиму забезпечує скорочення тривалості процесу сушіння на 25% порівняно з конвективним сушінням при 60 °C. Визначено питомі енерговитрати дослідно-промислової камерної сушарки з комбінованим нагріванням теплоносія, які в середньому становлять 3800 кДж/кг випареної вологи. Це значно нижче за відповідні показники існуючих сушильних установок.

П'ятий розділ присвячений дослідженню процесів диспергування, регідратаційних та сорбційних властивостей готових порошоків і гранульованих продуктів, активності води у висушеній сировині, а також визначенню якісних характеристик та адсорбційних властивостей білковмісної сировини після сушіння.

Зокрема, в цьому розділі визначено відновлюваність білковмісної сировини після сушіння. Показано, що цей показник у 4–5 разів перевищує відповідне значення для нативної сировини, що свідчить про високу якість продукту, висушеного за розробленими режимами. Досліджено процеси подрібнення та диспергування сухих матеріалів. Уперше визначено рівноважну вологість білковмісних матеріалів, висушених за ефективними режимами, та встановлено оптимальні умови їх зберігання.

У шостому розділі запропоновано принципово-технологічні схеми отримання гранульованого м'яса, грибного порошку та гранульованого м'ясного продукту швидкого приготування, описано елементи апаратурного оформлення та наведено техніко-економічне обґрунтування впровадження розроблених теплотехнологій. Крім того, в розділі наведено результати експериментальних досліджень з розроблення теплотехнологій виробництва сушеного м'яса свинини та яловичини, грибного порошку з культивованих грибів ерінги, шіїтаке, гливи та печериці звичайної, а також сушеного гранульованого м'ясного продукту швидкого приготування. Останній виготовляється з м'яса, грибів, моркви та селери, і може бути використаний як основа харчових продуктів для населення, військовослужбовців і спортсменів в екстремальних умовах.

У висновках наводиться перелік основних наукових і практичних результатів, одержаних у дисертаційній роботі.

У додатках наведено список опублікованих праць, акти використання результатів дисертаційних розрахунків, копія заявок на патент на винахід України та акти впровадження результатів досліджень

3. Наукова новизна отриманих результатів

В дисертаційній роботі отримано ряд нових наукових результатів. Серед них можна виокремити наступні:

1. встановлено вплив режимних параметрів сушіння на інтенсивність тепломасообмінних процесів у білкововмісній сировині тваринного та рослинного походження;
2. експериментально визначено теплоту випаровування води з тканин плодового тіла гриба печериця та теплоємність культивованих грибів у широкому інтервалі температур і вологості;
3. обґрунтовано ефективність комбінованих та двоступеневих режимів сушіння для м'ясної сировини і культивованих грибів;
4. обґрунтовано вплив попередньої підготовки білкововмісної сировини до сушіння на тепло- та вологообмін в матеріалі і встановлені теплофізичні характеристики, які дозволили зменшити енерговитрати на 15 – 20 % із збереженням якості кінцевої продукції;
5. встановлено залежність основних характеристик процесу сушіння за розробленими режимами при зневодненні білкововмісної сировини із зменшенням енерговитрат та максимальним збереженням біологічно активних речовин
6. розроблено чисельну модель процесу тепломасопереносу під час конвективного сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів;
7. запропоновано енергозберігаючі теплотехнології отримання гранульованого м'яса, грибного порошку та гранульованого м'ясного продукту швидкого приготування.

4. Практичне значення одержаних результатів:

Практичне значення дисертації полягає в тому, що:

1. запропоновано режими сушіння, які дозволяють зменшити тривалість процесу та знизити питомі енерговитрати при збереженні задовільних якісних характеристик готового продукту;
2. розроблено дослідно-промислові лінії отримання сухого продукту швидкого приготування із підвищеним вмістом білків;
3. одержані результати можуть бути використані при розробці і модернізації сушильного обладнання для переробки білкововмісної сировини;
4. розроблені технологічні схеми та апаратурно-технологічні лінії можуть бути використані при створенні сухих продуктів швидкого приготування;

Практична реалізація запропонованої теплотехнології підтверджується передачею результатів досліджень до науково-дослідницького Інституту продовольчих ресурсів НААН для впровадження грибного порошку у технологію отримання ковбасних виробів з метою розширення асортименту харчових продуктів із підвищеним вмістом білку. Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес НТУУ КПІ для підготовки фахівців за спеціальністю «Галузеве машинобудування». На пріоритети нових способів подані 3 патенти.

5. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів

Обґрунтованість основних положень дисертації підтверджується значним обсягом експериментального матеріалу, застосуванням сучасних методик дослідження та порівнянням частини розрахункових результатів з експериментом.

Достовірність отриманих результатів та висновків підтверджується коректністю постановки задач дослідження, використанням сучасних розрахункових методів та задовільним узгодженням результатів, що одержані здобувачем, з результатами, наведеними в літературі.

Детальне ознайомлення з текстом дисертації дає підстави стверджувати, що підхід дисертанта до вивчення проблем тепломасообміну при зневодненні білкововмісної сировини, розробці нових енергоефективних методів сушіння, а також створення теплотехнологій отримання білкововмісних продуктів з м'ясної сировини та культивованих грибів відзначається фундаментальністю та багатогранністю.

6. Апробація результатів та повнота викладення в опублікованих працях

Основні наукові положення та висновки висвітлені у 41 науковій праці, з яких 8 наукових статей, що входять до наукометричних баз даних Scopus, Web of Science (з них 1 в журналі з квантилем Q3); 10 наукових статей у фахових виданнях України; 2 монографії; 3 колективні монографії (1 з них розділ колективної монографії, що входить до наукометричної бази даних Scopus), 3 заявки на патент на винахід України. До опублікованих праць, які додатково відображають наукові результати дисертації та є свідченням апробації роботи, відносяться тези 15 доповідей на міжнародних та українських наукових конференціях. Усі основні результати дисертаційної роботи є новими та вчасно опубліковані у наукових виданнях.

7. Оформлення дисертації

Текст дисертації викладено українською мовою, аргументовано, логічно та послідовно. Стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує його чітко та однозначне розуміння.

Автореферат достатньо повно відображає основний зміст дисертації та її результати.

Дисертація є закінченою науковою працею, що виконана у вигляді підготовленого рукопису, і відповідає вимогам що їх пред'являють до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

8. Відомості про дотримання академічної доброчесності.

Під час аналізу дисертаційної роботи «Наукові засади створення енергоефективних теплотехнологій отримання білкововмісних продуктів» та наукових публікацій Самойленко Катерини Миколаївни, що відображають основний зміст роботи, ознак плагіату, фальсифікації результатів або інших

порушень академічної доброчесності, які могли б поставити під сумнів самостійний характер виконання роботи чи достовірність результатів, виявлено не було.

Дисертаційна робота Самойленко К.М. є результатом самостійних досліджень і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

9. Зауваження до дисертації.

Віддаючи належне позитивним здобуткам і висновкам дисертаційної роботи Самойленко К.М., вважаю за необхідне звернути увагу на питання, які потребують певних уточнень, роз'яснень та дискусії.

1. У цілому літературний огляд має інформативний характер, проте місцями недостатньо критично структуровано матеріал з позицій теплофізики. Зокрема, увагу зосереджено переважно на описі експериментальних результатів і технологічних режимів, проте недостатньо проаналізовано фізичні механізми процесу – внутрішній перенос вологи, зміна стану зв'язаної води та межі термостійкості білкових систем. Порівняння режимів сушіння здійснюється переважно за тривалістю процесу та якісними показниками продукту, без переходу до узагальнення в термінах критеріїв подібності та параметрів внутрішнього тепломасопереносу.
2. Запропонована математична модель процесу сушіння (розділ 3, с. 219–229) має спрощений характер. Не наведено обґрунтування одновимірної постановки задачі з урахуванням реальних геометричних масштабів зразків, а також прийнятого типу граничних умов. У моделі не враховано термодифузійні ефекти та використано кусочно-заданий коефіцієнт фазового перетворення без належного фізичного обґрунтування. Верифікація моделі обмежена одиничним прикладом (с. 224–229), що не дозволяє оцінити її узагальнюючу здатність.
3. У підрозділі 3.5 формули і таблиці, що описують теплоємність, подані не цілком акуратно. Наведені на рис. 3.45а дані не відповідають запропонованій лінійній апроксимації температурної залежності ізобаричної теплоємності (вирази (3.2)–(3.4)). Крім того, для окремих рядків табл. 3.1 спостерігається неузгодженість між записаними аналітичними залежностями (вирази (3.2) та (3.3)) та значеннями коефіцієнтів a і b .
4. У роботі значна увага приділена методикам обробки даних, однак фактичне подання похибок для багатьох основних результатів є недостатнім. Це стосується кінетичних кривих сушіння, розрахованих коефіцієнтів, параметрів моделі, регідратаційних характеристик та сорбційних ізотерм. Зокрема, для наведених у розділі 3 кінетичних залежностей сушіння не вказано похибки експериментальних точок і параметрів апроксимації, що ускладнює оцінку відмінностей між різними режимами сушіння. Крім того, не зрозуміла причина запису

занадто великої кількості значущих цифр у виразах (3.2) – (3.4) та табл. 3.1.

5. Техніко-економічна частина дисертації (с. 281–286) подана недостатньо узгоджено. Зокрема, для одних і тих самих видів сировини значення вартості, наведені в табл. 6.4, істотно відрізняються від відповідних даних у зведеній табл. 6.6 (зокрема, для грибної сировини — на порядок), без пояснення причин такої розбіжності. Крім того, у формулах відсутні пояснення щодо прийнятих вихідних параметрів і одиниць виміру для окремих величин, що ускладнює перевірку коректності виконаних розрахунків.
6. У дисертації наявні деякі похибки редакційного та стилістичного характеру. Місцями текст перевантажений описовими фрагментами, трапляються повтори (наприклад, визначення ефективності процесу сушіння наведено на сторінках 212 та 213), неточності в оформленні таблиць і посилань. Так, список використаних джерел оформлено недостатньо ретельно. У ньому як наявні повтори одних і тих самих бібліографічних позицій (зокрема, [84] і [108], [144] і [190], [197] і [199], [149] і [177]), так і використано джерела недостатнього наукового рівня, зокрема матеріали з Вікіпедії ([114], [150], [193]) та комерційних інтернет-ресурсів з незрозумілим статусом ([158], [165]), що є небажаним для дисертації докторського рівня. Крім того, трапляються окремі невдалі формулювання («похибки між цими даними», «є критерій ... яке визначає») та русизми («має місце», «на протязі» тощо), що дещо знижує загальний рівень оформлення роботи.

Зроблені зауваження не зменшують цінності основних наукових положень, висновків і рекомендацій, які виносяться на захист дисертантом. Крім того, вказані недоліки в основному мають дискусійний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Самойленко К.М.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота **Самойленко Катерини Миколаївни на тему «Наукові засади створення енергоефективних теплотехнологій отримання білкововмісних продуктів»** є завершеною науковою працею, в якій містяться нові наукові результати, спрямовані на вирішення актуальної проблеми, а саме дослідженню процесу тепломасообміну при зневодненні білкововмісної сировини, розробці нових енергоефективних методів сушіння, а також створення теплотехнологій отримання білкововмісних продуктів.

Робота виконана на сучасному науковому рівні, а одержані результати мають наукову новизну та практичну цінність. Сформульовані в роботі наукові висновки характеризуються високим ступенем обґрунтованості. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика».

На підставі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота «Наукові засади створення енергоефективних теплотехнологій отримання білкововмісних продуктів» повністю відповідає всім вимогам п. 7 та п. 9 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. №1197 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від № 502 від 19.05.2023) щодо докторських дисертацій, а її автор, Самойленко Катерина Миколаївна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри молекулярної фізики
фізичного факультету

Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

Дмитро ГАВРЮШЕНКО

Підпис
Вчений
КАРАУ

д.т.

