

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



ВЕРБИЦЬКИЙ СЕРГІЙ БОРИСОВИЧ

УДК 637.523.4

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТОНКОГО
ПОДРІБНЕННЯ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ ТА
РОЗРОБЛЕННЯ ЕМУЛЬСИТАТОРІВ РОТОРНОГО
ТИПУ**

05.18.12 Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ-2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук України, м. Київ

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
академік НААН України
Єресько Георгій Олексійович,
Інститут продовольчих ресурсів НААН України,
головний науковий співробітник

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гуць Віктор Степанович,
Національний університет харчових технологій,
кафедра безпеки життєдіяльності,
завідувач кафедри

кандидат технічних наук
Сухенко Владислав Юрійович,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
кафедра процесів і обладнання переробки продукції АПК,
доцент кафедри

Захист відбудеться «20» лютого 2014 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія A-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий «__» _____ 201__ р.

**Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.058.02,
к.т.н., доц.**



Л.О. Кривопляс-Володіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Якість варених ковбас і паштетів, які користуються стабільним попитом у вітчизняних споживачів, суттєво залежить від якості виконання тонкого подрібнення і є першим з принципових критеріїв для оцінювання ефективності роботи спеціалізованого технологічного обладнання. Другим критерієм є прийнятні для м'ясопереробників енергетичні характеристики роботи зазначеного обладнання.

В даний час для тонкого подрібнення м'ясної сировини найчастіше залучають кутери з чашами, що обертаються. Такі машини періодичної дії є занадто металомісткими та енергоємними. У практиці м'ясопереробки все ширшого розповсюдження набувають емульсатори м'яса безперервної дії, що дозволяють якісно здійснювати тонке подрібнення м'ясної сировини у потоці й відрізняються від кутерів простішою конструкцією, меншою металомісткістю та є ефективнішими у використанні. Оскільки емульсатори м'яса вітчизняними машинобудівними підприємствами не виробляються, нагальним є створення таких машин в Україні, що дозволить підвищити енергетичну ефективність м'ясопереробки та розширити номенклатуру продукції вітчизняних машинобудівних підприємств.

Зважаючи на те, що вартість енергоресурсів становить до 35 % собівартості харчової продукції, питання енергозбереження мають бути належним чином враховані при здійсненні процесу тонкого подрібнення м'ясної сировини та конструюванні спеціалізованого технологічного обладнання. Таким чином, вивчення процесу тонкого подрібнення м'ясної сировини, його оптимізація та розроблення науково обґрунтованих методів розрахунку спеціалізованого обладнання є актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано в Інституті продовольчих ресурсів НААН України в рамках науково-дослідних робіт «Дослідити процеси тонкого подрібнення м'ясної сировини з метою вдосконалення обладнання та технології вироблення м'ясних продуктів» (номер державної реєстрації №0104U000606), «Розробити установку для тонкого подрібнення м'ясної сировини з місткістю чаші 120 літрів» (номер державної реєстрації №0105U001348) та «Дослідити процеси утворення дрібнодисперсних фаршевих систем з метою створення технології та обладнання для виготовлення м'ясних виробів» (номер державної реєстрації №0106U002057), виконаних лабораторією механізації м'ясного виробництва за науково-технічними програмами НААН «Переробка молока та м'яса» та «Технології та обладнання для ефективної переробки м'ясної, молочної сировини та птиці і виробництва повноцінних продуктів харчування».

Мета і завдання досліджень. Основною метою дисертаційної роботи є удосконалення тонкого подрібнення м'ясної сировини і розроблення емульсатора роторного типу.

У відповідності з поставленою метою були сформульовані основні завдання роботи:

- розробити дослідну установку для тонкого подрібнення м'ясної сировини, а також запропонувати методику визначання її енерговитрат;
- запропонувати методику визначання якості тонкого подрібнення м'ясної сировини на основі вимірювання фізичних розмірів отриманих часток;
- визначити залежність енергетичної ефективності та напруження стандартної пенетрації фаршів від конструктивних параметрів емульсатора та технологічних характеристик процесу тонкого подрібнення;
- дослідити залежність тривалості перебування фаршевих мас, що обробляються, та темпу їх нагрівання у робочій зоні від характеристик процесу подрібнення;
- встановити залежність розмірів часток оброблених фаршевих мас від конструктивних параметрів емульсатора та технологічних характеристик процесу;
- вивчити залежність структурно-механічних показників фаршевих мас згідно з профільним аналізом структури від геометричних параметрів емульсатора;
- розробити математичну модель розподілу енерговитрат у процесі тонкого подрібнення м'ясної сировини на емульсаторі роторного типу та обґрунтувати метод визначання інтегрованої потужності;
- розробити конструкторську документацію та виготовити промисловий зразок емульсатора;
- розробити інструкції з виробництва м'ясних продуктів з використанням емульсаторів роторного типу.

Об'єкт досліджень: процес одержання дрібнодисперсних фаршевих систем.

Предмет досліджень: енергетичні показники процесу подрібнення, структурно-механічні характеристики фаршів, розміри часток отриманих при подрібненні м'ясних мас, а також конструктивно-технологічні параметри емульсаторів роторного типу.

Методи досліджень. Для виконання поставлених завдань, у роботі використовували стандартні, загальноживані та модифіковані фізичні, фізико-хімічні та органолептичні методи досліджень м'ясної сировини та дрібнодисперсних фаршевих мас.

Наукова новизна одержаних результатів:

- розроблено методику визначання ступеню подрібнення м'ясної сировини з застосуванням цифрового аналізу мікрозображень, одержаних мікроскопічним скануванням, що дозволило визначити середні розміри часток фаршів м'ясних виробів після тонкого подрібнення;
- вперше за допомогою профільного аналізу структури визначено залежність структурно-механічних показників фаршевих мас від геометричних параметрів емульсатора: зазору між ротором і статором, зазору між пластинами статора та швидкістю різання;
- розроблено математичну модель розподілу енерговитрат у процесі тонкого подрібнення м'ясної сировини на емульсаторі роторного типу та обґрунтовано метод визначання його інтегрованої потужності;
- встановлено визначальний вплив витрат механічної енергії на одержання фаршевих мас заданого ступеня подрібнення.

Практичне значення одержаних результатів. Виготовлено емульсатори роторного типу з подрібненням в одну та дві стадії та запропоновано метод розрахунку їх інтегрованої потужності.

Розроблено технологічні інструкції з виробництва варених ковбас і паштету з використанням емульсаторів роторного типу.

Промисловий емульсатор Я5-ФЕМ з подрібненням у дві стадії впроваджено на підприємстві СПД Дорогін «Брусилівські ковбаси». Питомий економічний ефект від впровадження емульсатора Я5-ФЕМ склав 185,4 грн./т продукції.

Новизну технічних рішень підтверджено патентом України на винахід «Спосіб виготовлення паштету та пристрій для його здійснення» (Пат. 69697 Україна, опубл. 15.09.2004 р. Бюл.№9), патентом України на корисну модель «Пристрій для тонкого подрібнення харчової сировини» (Пат. 6724 Україна, опубл. 16.05.2005 р. Бюл.№5), а також патентом України на корисну модель «Пристрій для виготовлення м'ясних і м'ясо-рослинних паштетів» (Пат. 13706 Україна, опубл. 17.04.2006 р. Бюл.№4).

Особистий внесок здобувача. Автором сформульовано мету і завдання досліджень. Проаналізовано літературні дані, складено програму досліджень і виконано експериментальні дослідження. Розроблено дослідну роторну установку тонкого подрібнення м'ясної сировини та спосіб визначання її енергетичних характеристик. Розроблено метод об'єктивного визначання якості тонкого подрібнення м'ясної сировини шляхом вимірювання фізичних розмірів часток подрібнених м'ясних мас. За допомогою профільного аналізу структури визначено залежність структурно-механічних показників фаршевих мас від геометричних параметрів емульсатора. Вивчено вплив основних конструктивних параметрів обладнання та його кінематичних характеристик на якість оброблених фаршевих мас та енергетичні показники процесу. Розроблено математичну модель розподілу енерговитрат у процесі тонкого подрібнення м'ясної сировини на емульсаторі роторного типу та обґрунтовано метод визначання його інтегрованої потужності. З урахуванням результатів досліджень у рамках цієї роботи розроблено технологічні інструкції з виробництва варених ковбас і паштету з використанням зубчастих емульсаторів.

Особистий внесок здобувача підтверджується представленими документами та науковими працями.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях студентів, аспірантів і молодих вчених (Київ, НУХТ, 2005 р., 2006 р.); науково-практичній конференції молодих вчених та спеціалістів (Київ, ТІММ, 2009 р.), на науково-практичній конференції (Київ, ІПР, 2013 р.), на міжнародних науково-технічних конференціях (Київ, НУХТ, 2005 р., 2007 р., 2010 р.); на міжнародних науково-практичних конференціях (Волгоград, ВДТУ, 2007 р.; Київ, НУБіП, 2013 р.; Краснодар, КНДІЗП, 2013 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 20 наукових праць, у тому числі 9 статей у наукових журналах і збірниках наукових праць, з них 7 у фахових виданнях, 2 публікації у закордонних виданнях, 2 патенти України на корисну модель, 1 патент України на винахід, тези доповідей на 6 науково-технічних і науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та 13 додатків. Роботу викладено на 145 сторінках основного друкованого тексту, який містить 69 рисунків, 12 таблиць, перелік використаних літературних джерел – 207 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, висвітлено наукову новизну і практичну цінність роботи, зазначено особистий внесок автора, апробацію результатів досліджень, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі «Аналіз теоретичних засад процесу тонкого подрібнення м'ясної сировини та сучасного стану обладнання для його здійснення» узагальнено літературні і патентні інформаційні відомості вітчизняних та закордонних авторів щодо теоретичних засад подрібнення, зокрема тонкого, м'ясної сировини та шляхів зменшення витрат енергії на його здійснення. Наведено аналітичний огляд науково-технічної літератури щодо впливу біологічних і структурно-механічних властивостей м'ясної сировини на перебіг процесу тонкого подрібнення. Проаналізовано інформацію щодо застосовуваних у світовій практиці пристроїв різних типів для тонкого подрібнення м'ясної сировини, здійснено порівняльний аналіз зазначених пристроїв та оцінено притаманні їм переваги та недоліки.

Аналіз літературних джерел показав найбільшу відповідність сформульованим вище критеріям емульситаторів з багатозубчастими різальними органами, а також дав змогу сформулювати мету і задачі досліджень.

У другому розділі «Проведення експериментальних робіт: порядок, методи та обладнання» наведено схему експериментальних досліджень (рис.1), виконаних у дисертаційній роботі, подано відомості про об'єкт і предмет досліджень, викладено опис стандартних та спеціальних методів досліджень та обладнання, застосованого для їх проведення. Розділ містить також відомості щодо розроблення експериментального обладнання для тонкого подрібнення м'ясної сировини.

Для визначання енергетичних показників використовували перетворювач частоти Lenze 8200 Vector E82EV 302 K4B, і фіксували показники частоти обертання, сили струму та питомого навантаження. Питому роботу різання вираховували, як відношення фактичної потужності до добутку сукупної площі одиничних пар різання та частоти обертання ротора. Визначання геометричних розмірів часток виконували з використанням мікроскопічного методу з комп'ютерним аналізом зображень згідно з розробленим алгоритмом за допомогою комп'ютерної програми аналізу мікрозображень ImageJ.

Граничне напруження зсуву фаршів вимірювали за допомогою пенетрометра моделі Stanhope Seta 1719 та універсальних випробувальних машин «Instron-1122» і SANS CMT2503, оснащених приставкою Magness-Taylor. Для досліджень структурно-механічних характеристик фаршів застосовували метод профільного аналізу структури (ТРА).

Для проведення досліджень було розроблено та виготовлено експериментальні подрібнювачі м'ясної сировини Я5-ФПФ (рис. 2) та Я5-ФП2Ф, конструкція яких (захищена патентами України [9, 10, 11]) дозволила встановлювати величину зазору між ротором і статором у діапазоні від 0,1 до 0,7 мм., зазор між пластинами статора – від 0,3 до 0,5 мм.



Рис. 1. Схема експериментальних досліджень.

У третьому розділі «Експериментальні дослідження та їх результати» наведено результати власних експериментальних досліджень процесу тонкого подрібнення фаршів варених ковбас Яловичої, Останкінської, а також паштету Українського, попередньо подрібнених на вовчку з отворами решітки 3 мм та підданих двократному тонкому подрібненню на емульсаторі з фіксацією показників перебігу процесу і на першій, і на другій стадії тонкого подрібнення.

Дослідження впливу частоти обертання різального ротора та кількості доданої води на структурно-механічні характеристики фаршу ковбаси Яловичої показали, що зі зростанням частоти обертання різального ротора як на першій, так і на другій (рис. 3) стадії подрібнення спостерігалось зростання значень питомої роботи різання. При подрібненні як в одну, так і в дві стадії збільшення вмісту доданої води викликало зменшення питомої роботи різання та напруження стандартної пенетрації.

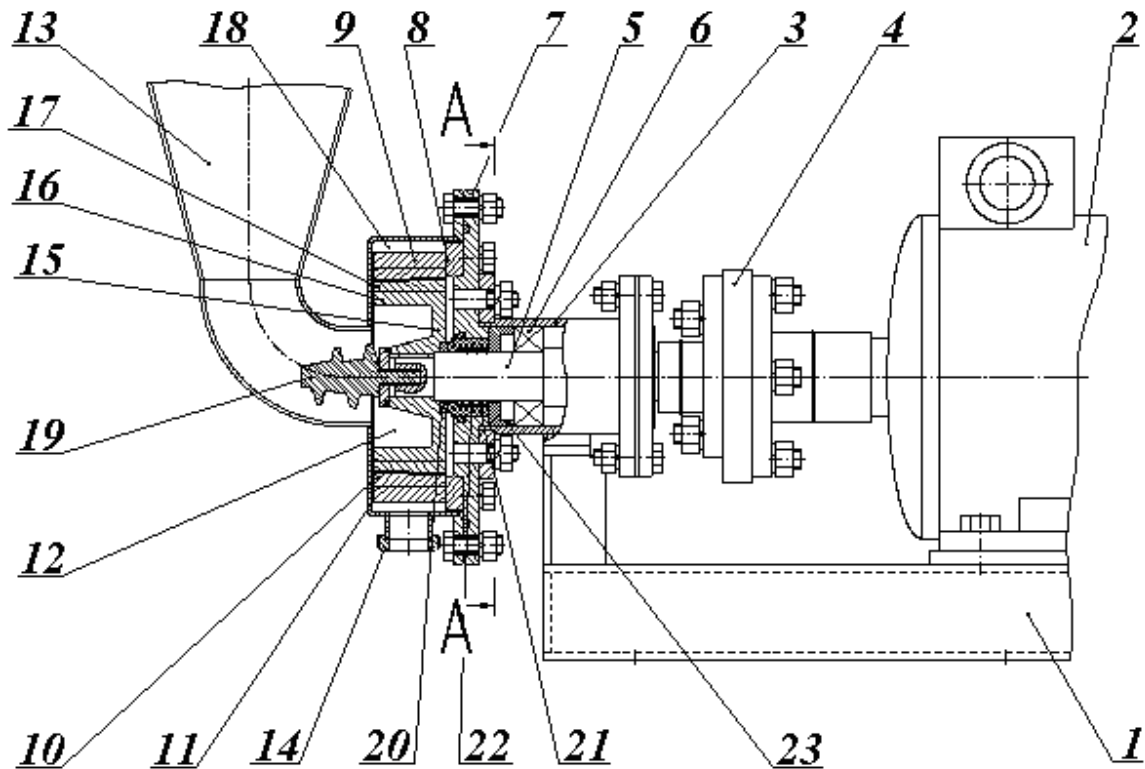


Рис. 2. Схема загального вигляду лабораторного подрібнювача м'ясної сировини Я5-ФПФ: 1) рама; 2) електродвигун; 3) корпус; 4) пружна муфта; 5) робочий вал; 6) підшипникові опори; 7) опорний фланець; 8) статор; 9) зубці статора; 10) накладки на зубцях статора; 11) кришка; 12) робоча камера; 13) бункер; 14) патрубок; 15) ротор; 16) різальні зубці ротора; 17) накладки на зубцях ротора; 18) кільцевий канал; 19) шнек; 20) набір шайб; 21) фторолонова втулка; 22) пружина; 23) притискна шайба.

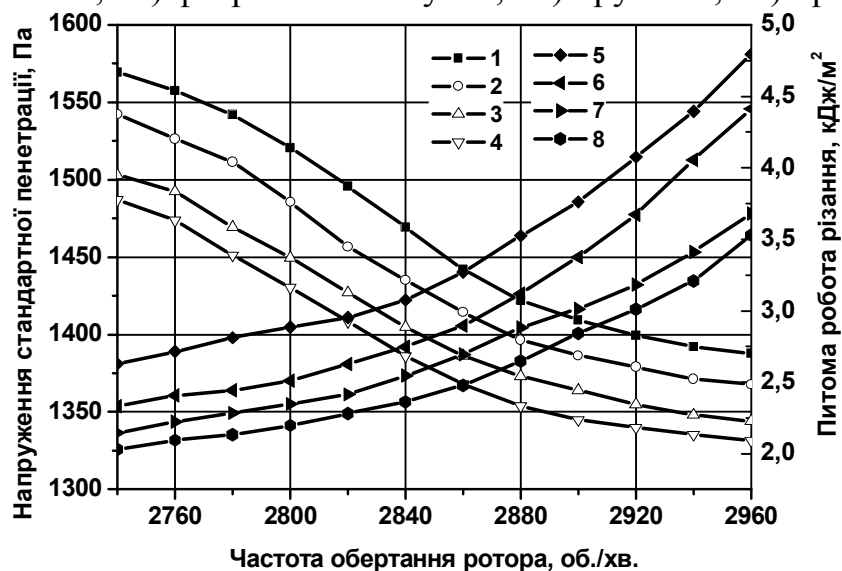


Рис. 3. Залежність напруження стандартної пенетрації (криві 1 – 4) та питомої роботи різання (криві 5 – 8) фаршу ковбаси Яловичої від частоти обертання ротора (подрібнення у дві стадії) та кількості доданої води: криві 1 та 5 – воду не додавали; криві 2 та 6 – 10 %; криві 3 та 7 – 20 %; криві 4 та 8 – 30 %.

Аналогічний характер впливу частоти обертання різального ротора та кількості доданої води на структурно-механічні характеристики спостерігався і для фаршів ковбаси Останкінської та паштету Українського.

Частота обертання ротора, що відповідає раціональному співвідношенню питомої роботи різання та напруження стандартної пенетрації, показана на рис. 4.

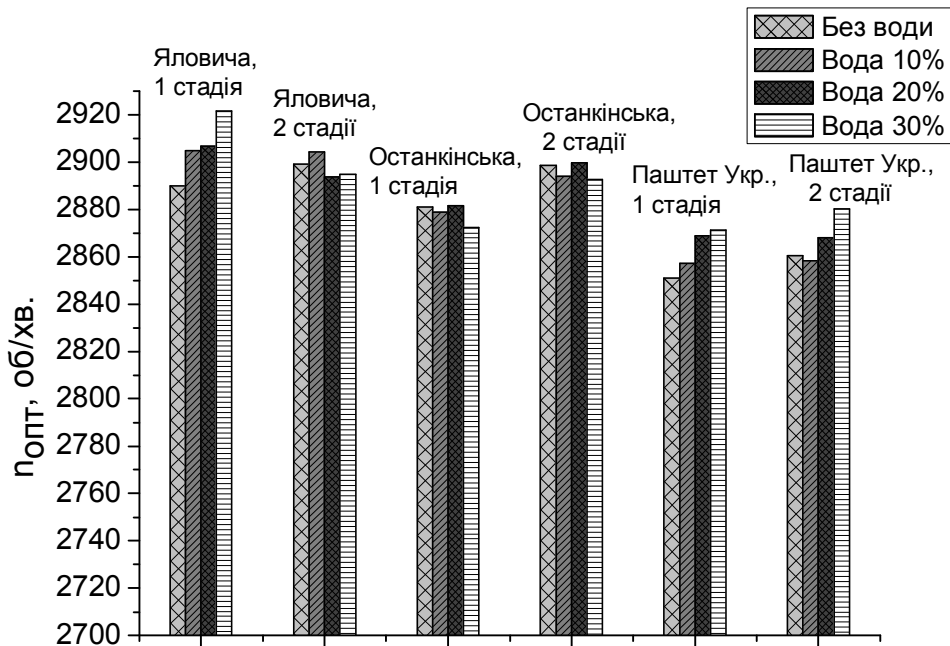


Рис. 4. Значення частоти обертання ротора, що відповідають раціональному співвідношенню питомої роботи різання та напруження стандартної пенетрації.

Встановлюючи певне значення частоти обертання ротора, визначали час перебування фаршів всередині робочої порожнини емульсатора під час першої та другої стадії тонкого подрібнення, для чого проби фаршу масою 1 кг забарвлювали харчовим барвником та опускали до бункера емульсатора. Заміряли час з моменту появи перших ознак забарвлення тонко подрібненої маси на вивантажувальному патрубку емульсатора до моменту, коли з вивантажувального патрубка машини починав виходити продукт без виражених ознак забарвлення. Для обох стадій тонкого подрібнення у межах обраного діапазону частоти обертання ротора – від 2740 до 2860 об./хв. – час перебування фаршів ковбас Яловичої та Останкінської у зоні подрібнення відрізнявся несуттєво. Тонке подрібнення фаршу паштету Українського характеризувалося меншим часом перебування сировини в робочій зоні. Для обох стадій тонкого подрібнення та всіх значень вмісту доданої води криві залежностей мають характер експоненціального спаду першого порядку. Залежність тривалості перебування фаршу ковбаси Яловичої від частоти обертання ротора (подрібнення в дві стадії) та кількості доданої води показано на рис. 5.

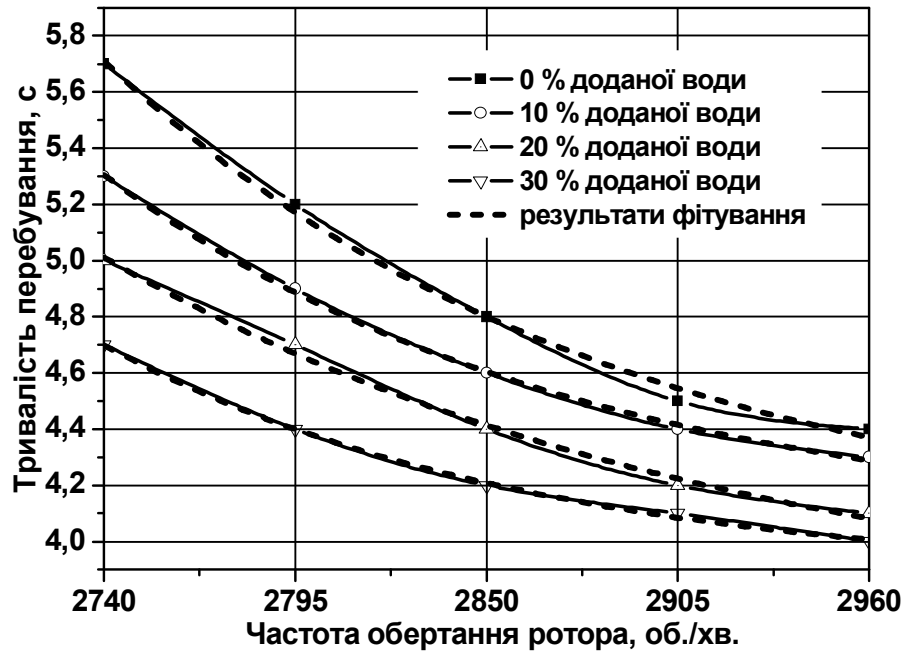


Рис. 5. Залежність тривалості оброблення фаршу ковбаси Яловичої від частоти обертання ротора (подрібнення в дві стадії) та кількості доданої води.

Досліджували залежності темпу нагрівання фаршевих мас від тривалості перебування у робочій зоні тонкого подрібнення та кількості доданої води. Після додавання води фарш перемішували та охолоджували до температури 4 °С. За частоти обертання різального ротора 2850 об./хв. виконували тонке подрібнення в одну або дві стадії кожного з видів сировини, до якої було додано 10 % або 20 % (за масою) води. Щохвилини замірювали температуру обробленої маси на вивантажувальному патрубку емульсатора та будували графіки, один з яких наведено на рис. 6.

Виявилось, що характер зміни температури всіх досліджених фаршевих мас є схожим. Спершу відбувається різке нагрівання робочого середовища. На другому етапі процесу спостерігається стабілізація та уповільнення темпу нагрівання. На останньому етапі процесу спостерігається підвищення темпу нагрівання, що можна пояснити тим, що в процесі нагрівання робочого середовища починають брати участь вже нагріті елементи конструкції емульсатора. Ділянки експериментальних кривих було апроксимовано лінійною функцією.

Досліджували залежність діаметра Фере часток фаршів від величини зазору між ротором і статором при тонкому подрібненні в одну та дві стадії. Величину зазору призначали рівною 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 і 0,7 мм, зазор між різальними пластинами статора - 0,3 і 0,5 мм, колова швидкість 15 м/с. У всіх досліджених випадках при збільшенні зазору між ротором і статором діаметр Фере часток збільшувався за експоненціальним законом (рис. 7).

Дослідження показників ТРА фаршу ковбаси Яловичої за частоти обертання ротора 2860 об./хв. показали, що зі збільшенням зазору між ротором і статором, а також зазору між пластинами статора у зазначених вище діапазонах, відбувалося збільшення твердості обробленої маси від 24,0 Н до 36,0 Н, когезії – від 0,57 Н до 0,64 Н, пружності – від 0,68 Н до 0,79 Н, розжовуваності – від 9,3 Н до 18,3 Н.

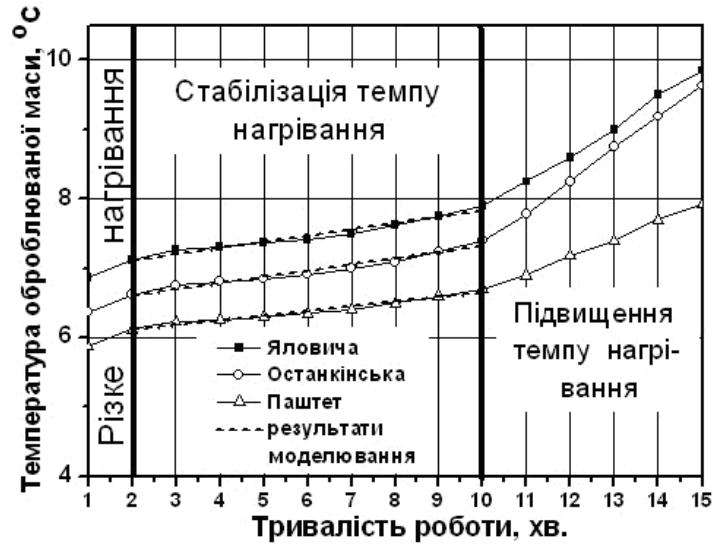


Рис. 6. Залежність температури нагрівання м'ясної сировини (20 % доданої води) від тривалості роботи емульсифікатора на першій стадії подрібнення.

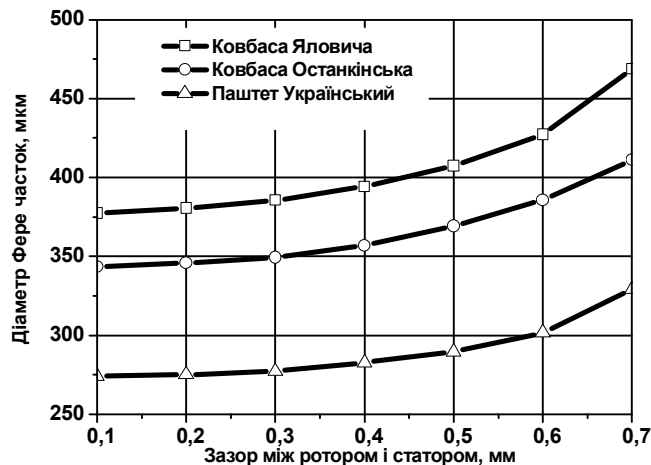


Рис. 7. Залежність діаметра Фере часток фаршу ковбас Яловичої, Останкінської та паштету Українського від величини зазору між ротором і статором при зазорі між пластинами ротора 0,5 мм (подрібнення у дві стадії, колова швидкість 15 м/с).

Промоделювавши залежність твердості фаршу ковбаси Яловичої від величин зазорів, та порівнявши значення коефіцієнта детермінації, визначили, що експериментальні залежності найкраще описує поліном другого порядку:

$$z = z_0 + a \cdot x + b \cdot y + c \cdot x^2 + d \cdot y^2 + f \cdot x \cdot y, \quad (1)$$

де a, b, c, d, f – розрахункові параметри, визначені за результатами досліджень;

z_0 – початкове значення твердості;

x – величина зазору між пластинами статора;

y – величина зазору між ротором і статором.

Залежності показників ТРА від геометричних параметрів зображено на рис. 8.

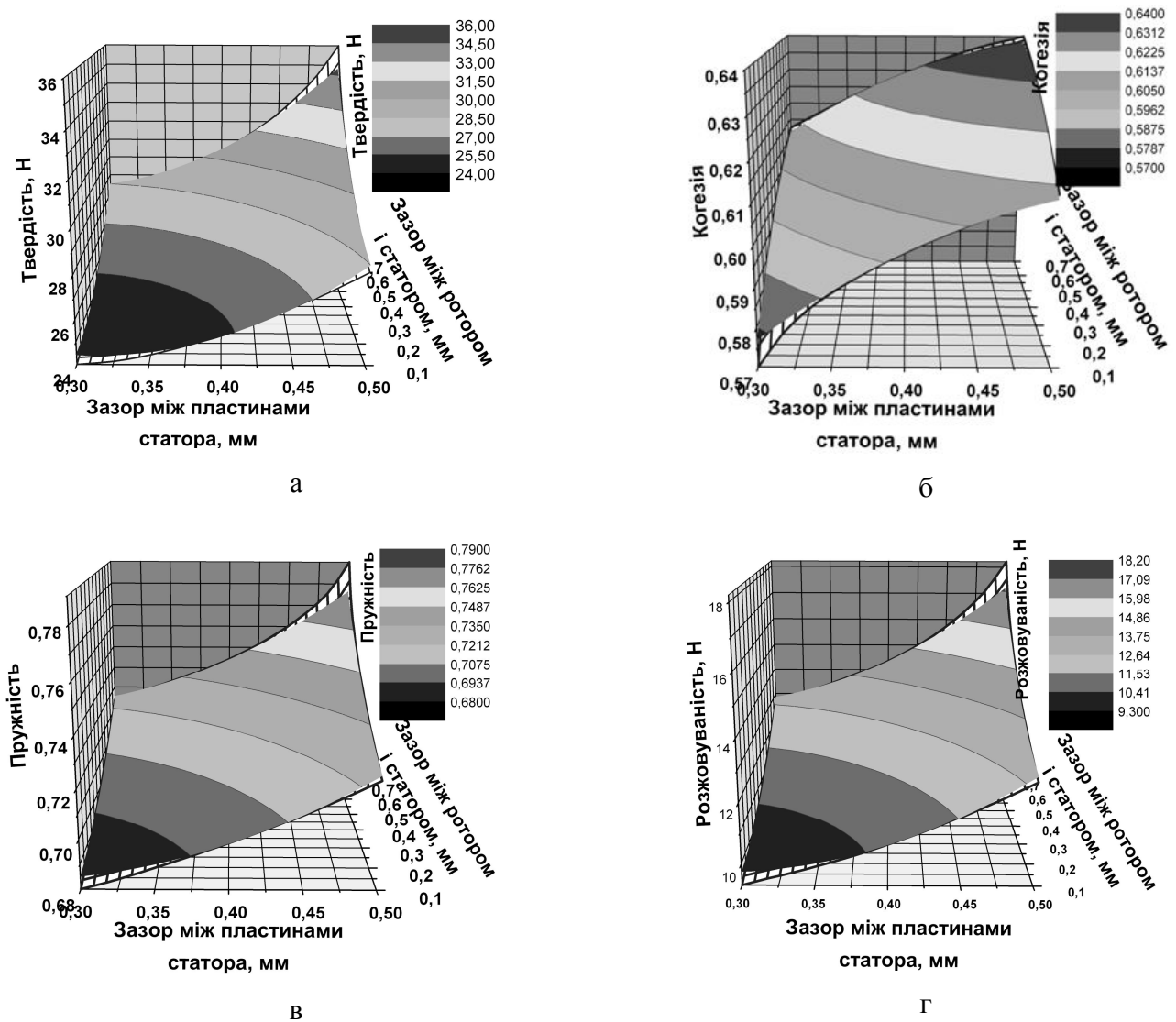


Рис. 8. Залежності твердості (а), когезії (б), пружності (в) та розжовуваності (г) фаршу ковбаси Яловичої від величини робочих зазорів емульсатора.

У четвертому розділі «Створення математичної моделі енерговитрат у процесі тонкого подрібнення м'ясної сировини на роторному емульсаторі багатозубчастій конструкції» викладено результати математичного моделювання інтегрованої потужності емульсатора. Розрахункову схему наведено на рис. 9.

Інтегрована потужність N_{int} , необхідна для здійснення процесу, дорівнює:

$$N_{int} = N_{\delta} + N_{ош} + N_{ши} + N_{ор} + N_{з} + N_{н} + N_{с} + N_{е} + N_{м}, \text{ Вт} \quad (2)$$

де N_{δ} – потужність, що витрачається на подачу сировини до робочої порожнини;
 $N_{ош}$ – потужність, яка витрачається на обтікання подавального шнеку;
 $N_{ши}$ – потужність, витрата якої пов'язана з подаванням сировини шнеком;
 $N_{ор}$ – потужність, яка витрачається на обтікання ротора;
 $N_{з}$ – потужність, яка витрачається в зазорі між ротором і статором;
 $N_{н}$ – потужність, необхідна для подрібнення сировини;
 $N_{с}$ – потужність, необхідна для просування подрібненої маси крізь щілини статора;
 $N_{е}$ – потужність, необхідна для відведення подрібненої маси;
 $N_{м}$ – потужність на подолання механічних опорів у вузлах емульсатора.

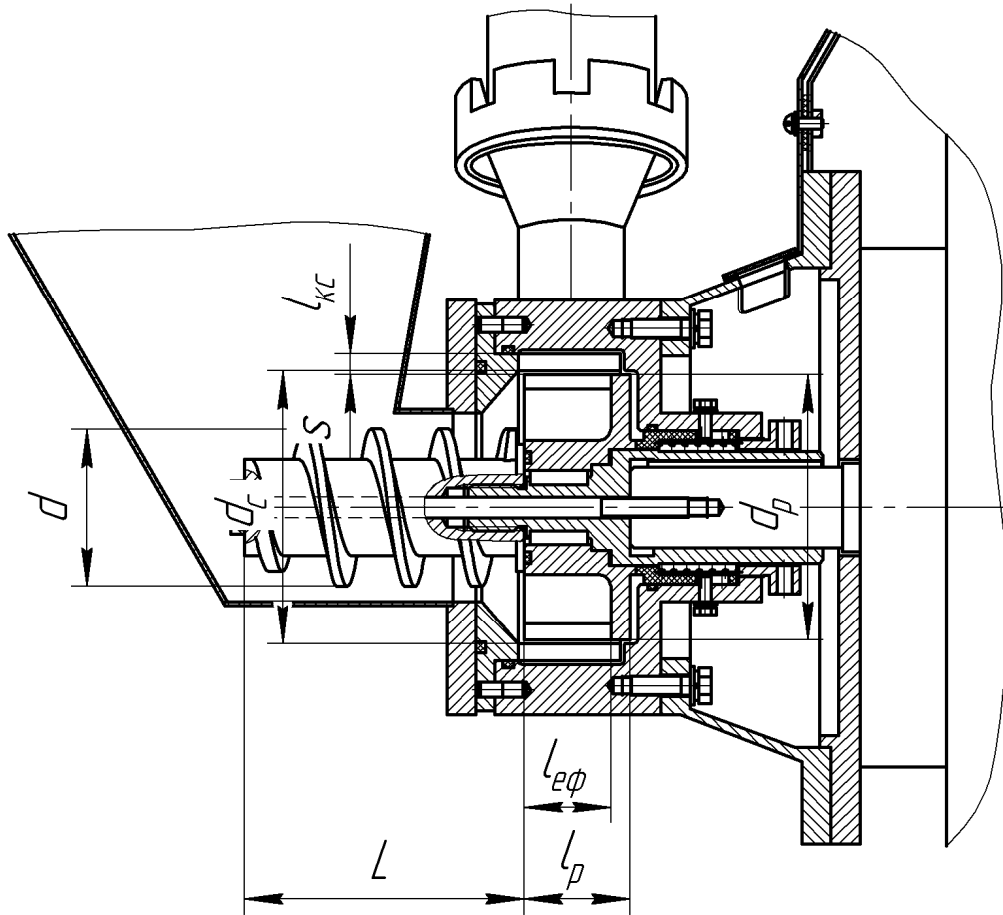


Рис. 9. Схема до розрахунку інтегрованої потужності емульсатора.

Потужність N_3 , що витрачається в радіальному зазорі між ротором і статором, визначаємо, виходячи з того, що в цьому зазорі виникають значні зсувні напруження, які спричиняють дисипацію енергії та нагрівання робочого середовища в потоці, що має складну структуру, причому переважає турбулентна течія плоскої моделі. Потужність N_3 є прямо пропорційною до кутової швидкості та крутного моменту сил опору, що залежить від зовнішнього радіуса ротора та сили внутрішнього тертя в радіальному зазорі. Використавши для визначення градієнта швидкості рівняння Нав'є-Стокса та рівняння нерозривності плоскої течії у циліндричній системі координат, визначаємо колову складову швидкості за граничних умов $v_\varphi|_{r=R_3}$. Продиференціювавши рівняння для визначення колової складової швидкості, маємо всі складники рівняння для визначання потужності, що витрачається в радіальному зазорі:

$$N_3 = \frac{2 \cdot \text{Re} \cdot \pi \cdot l_p \cdot \mu \cdot \omega^2 \cdot R_3^4 \cdot R_c^{\text{Re}}}{R_c^{\text{Re}} - R_3^{\text{Re}}}, \text{ Вт} \quad (3)$$

де Re – критерій Рейнольдса;

l_p – висота ротора, м;

μ – уявна в'язкість, Па·с;

ω – кутова швидкість, с^{-1} ;

R_3 – зовнішній радіус ротора, м;

R_c – внутрішній радіус статора, м.

Потужність N_n , необхідну для подрібнення матеріалу між рухомими та нерухомими ножами подрібнювача, визначаємо за формулою:

$$N_n = \frac{K_n \cdot \sigma_p \cdot l_{ef} \cdot s^2 \cdot \omega \cdot z}{2\pi \cdot \cos \alpha}, \text{ Вт} \quad (4)$$

де K_n – коефіцієнт, що враховує технічний стан ножів та величину зазору між рухомими та нерухомими ножами;

σ_p – напруження руйнації, Па;

l_{ef} – висота різальної корони ротора, м;

s – товщина шару подрібнюваного матеріалу, м;

ω – кутова швидкість ротора, с^{-1} ;

z – кількість різальних зубців ротора;

α – кут нахилу зубців ротора відносно осі його обертання, град.

Доданки N_{ou} , N_{nu} , N_{op} , N_c описуємо на основі загальних методичних підходів теорії подібності, доданками N_d та N_b , виходячи з умов роботи, нехтуємо, а для врахування доданка N_m , вводимо коефіцієнт механічних втрат, що чисельно дорівнює 1,1 – 1,7, тоді формула інтегрованої потужності після деяких перетворень набуде вигляду:

$$N_{int} = k_m \cdot \rho \cdot n^3 \cdot \left[C \cdot \text{Re}^A \cdot P^B \cdot \Gamma_{ш} \cdot d_{ш}^{\delta} + F \cdot \text{Re}^D \cdot P^E \cdot \Gamma_p \cdot d_p^{\delta} + J \cdot \left(\frac{4 \cdot \rho \cdot V_{np} \cdot z \cdot l_{kc} \cdot s}{\mu_a \cdot p_3} \right)^G \cdot P^H \cdot \Gamma_c \cdot d_c^{\delta} \right] + k_m \cdot \left[k_c \cdot k_0 \cdot M \cdot L + \frac{K_n \cdot \sigma_p \cdot l_{ef} \cdot s^2 \cdot \omega \cdot z}{2 \cdot \pi \cdot \cos \alpha} + \frac{2 \cdot \text{Re} \pi \cdot l_p \cdot \mu \cdot \omega^2 \cdot R_3^A \cdot R_c^{\text{Re}}}{R_c^{\text{Re}} - R_3^{\text{Re}}} \right] \cdot \text{Вт} \quad (5)$$

де k_m – коефіцієнт механічних втрат;

ρ – густина робочого середовища, кг/м^3 ;

n – частота обертання привідного валу емульситатора, об./с ;

P – комплекс реологічних властивостей сировини;

$\Gamma_{ш}$ – симплекс геометричної подібності для шнека;

$d_{ш}$ – діаметр шнека, м;

Γ_p – симплекс геометричної подібності для ротора.

d_p – діаметр ротора, м;

V_{np} – лінійна швидкість на поверхні ротора, м/с ;

z – кількість каналів;

l_{kc} – довжина каналу статора, м;

s – ширина каналу статора, м;

Γ_c – симплекс геометричної подібності для щілин статора;

d_c – діаметр статора, м;

k_c – системний коефіцієнт, $k_c = 102^{-1}$;

k_0 – коефіцієнт опору, $k_0 = 4 \div 8$;

M – продуктивність шнека, кг/с ;

L – довжина шнека, м;

l_p – висота ротора, м;

μ – уявна в'язкість, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

ω – кутова швидкість, c^{-1} ;

R_3 – зовнішній радіус ротора, м;

R_c – внутрішній радіус статора, м;

A, B, C, D, E, F, G, H та J – емпіричні коефіцієнти;

Запропонована модель енергетичних витрат у процесі тонкого подрібнення м'ясної сировини на роторному емульсаторі багатозубчастої конструкції зв'язує фізичні та реологічні параметри робочого середовища з геометричними параметрами залученого для реалізації процесу технологічного пристрою.

Підставивши у (5) визначені експериментальним шляхом коефіцієнти, одержимо:

$$N_{int} = k_m \cdot \rho \cdot n^3 \cdot \left[0,13 \cdot Re^{0,22} \cdot P^{0,32} \cdot \Gamma_{uu} \cdot d_{uu}^5 + 0,044 \cdot Re^{0,18} \cdot P^{0,32} \cdot \Gamma_p \cdot d_p^5 + 0,129 \cdot \left(\frac{4 \cdot \rho \cdot V_{np} \cdot z \cdot l_{kc} \cdot s}{\mu_a \cdot p_3} \right)^{0,15} \cdot P^{0,18} \cdot \Gamma_c \cdot d_c^5 \right] + k_m \cdot \left[k_c \cdot k_0 \cdot M \cdot L + \frac{K_n \cdot \sigma_p \cdot l_{ef} \cdot s^2 \cdot \omega \cdot z}{2 \cdot \pi \cdot \cos \alpha} + \frac{2 \cdot Re \cdot \pi \cdot l_p \cdot \mu \cdot \omega^2 \cdot R_3^4 \cdot R_c^{Re}}{R_c^{Re} - R_3^{Re}} \right], \text{ Вт} \quad (6)$$

Для практичних конструкторських робіт формулу 16 інтегральної потужності емульсатора можна спростити, беручи до уваги той факт, що витрати енергії, пов'язані з подрібненням, складають від 75 % до 80 %, а пов'язані з просуванням сировини шнеком до зони дії робочих органів – приблизно 10 % загальних витрат енергії при тонкому подрібненні м'ясної сировини в емульсаторі. Тоді практична формула для розрахунку інтегральної потужності емульсатора набуває вигляду:

$$N_{int} = k_m \cdot k_e \cdot \left[k_c \cdot k_0 \cdot M \cdot L + \frac{K_n \cdot \sigma_p \cdot l_{ef} \cdot s^2 \cdot Re \cdot \mu \cdot z}{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \cos \alpha} \right], \text{ Вт} \quad (7)$$

де k_m – коефіцієнт механічних витрат, що чисельно дорівнює 1,4;

k_e – коефіцієнт гідравлічного опору, що чисельно дорівнює 1,1.

Порівняння значень інтегрованої потужності (рис.10), виміряних під час виробок фаршу ковбаси Останкінська (крива 1), зі значеннями, одержаними за формулами 6 (крива 2) та 7 (крива 3) показало, що у дослідженому діапазоні різниця досліджених і розрахованих значень потужності була незначною і не перевищувала 3 %.

Таким чином, на практиці доведено можливість використання створеної моделі розподілу енерговитрат у процесі тонкого подрібнення м'ясної сировини, що зв'язує фізичні та реологічні параметри робочого середовища та геометричні параметри машини, для розроблення технологічного процесу та конструювання емульсаторів, оснащених багатозубчастими роторами та статорами.



Рис. 10. Залежність інтегрованої потужності емульсатора від частоти обертання ротора – результати, одержані шляхом вимірювання та розрахунку.

У п'ятому розділі «Розроблення промислового емульсатора та практичне використання результатів дисертаційної роботи» зазначено шляхи можливого використання результатів проведених досліджень у промисловості, а також при подальшому вивченні процесів тонкого подрібнення м'ясної сировини:

- запропоновано та відпрацьовано методику визначання енергетичних показників процесу тонкого подрібнення м'ясної сировини з залученням штатних інформаційних функцій перетворювача частоти, використовуваного для регулювання у широкому діапазоні частоти обертання ротора емульсатора та запропоновано практичний спосіб визначання питомої роботи різання;

- розроблено спосіб визначання розмірів часток подрібненої м'ясної сировини шляхом мікрофотографування зразків фаршу та програмного аналізу зображень, що дозволяє кількісно описати одержану інформацію;

- розроблено математичну модель енерговитрат процесу тонкого подрібнення м'ясної сировини, що зв'язує фізичні та реологічні параметри робочого середовища з геометричними параметрами емульсатора і дає змогу враховувати ці параметри при проектуванні технологічного процесу та конструюванні подрібнювального обладнання;

- спроектовано і виготовлено промисловий емульсатор Я5-ФЕМ з зубчастими робочими органами. Емульсатор впроваджено у виробництво на підприємстві СПД Дорогін «Брусилівські ковбаси» (с.м.т. Брусилів Житомирської обл.).

- розроблено «Технологічну інструкцію з виробництва ковбас Яловичої та Останкінської з використанням емульсатора Я5-ФЕМ» та «Технологічну інструкцію з виробництва паштету Українського з використанням емульсатора Я5-ФЕМ», де зазначено відомості, необхідні для призначання технологічних режимів, виходячи з умов додержання бажаного співвідношення структурно-механічних властивостей фаршу та енергетичних параметрів процесу;

- спільно з фахівцями фірми «Shenzhen SANS Testing Machine Co., Ltd.» (КНР) створено модифікацію випробувальної машини SANS CMT2503, призначеної для досліджень структурно-механічних властивостей харчових продуктів та оснащеної з цією метою спеціальними засобами – інденторами та приставками.

ВИСНОВКИ

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Проведені дослідження дали можливість розробити методику визначання ступеню подрібнення м'ясної сировини із застосуванням цифрового аналізу мікробіологічних зображень та визначити, що середні розміри часток фаршів після тонкого подрібнення зменшувалися: для фаршу ковбаси Яловичої – у 5,7 раза, ковбаси Останкінської – у 5,7 раза, паштету Українського – у 6,8 раза, та складали, відповідно, 0,419 мм, 0,365 мм та 0,268 мм.

2. Встановлено визначальний вплив питомої роботи різання на структурно-механічні властивості фаршів.

3. Встановлено, що додавання води до фаршів дозволяє забезпечити необхідну їх консистенцію, а також підвищити продуктивність емульсатора.

4. Встановлено залежність структурно-механічних характеристик – твердості, когезії, пружності та розжовуваності – фаршевих мас від величин геометричних параметрів емульсатора: при зменшенні зазору між ротором і статором від 0,7 до 0,1 мм та зазору між пластинами ротора від 0,5 до 0,3 мм твердість зменшилася, у середньому, на 35 %, пружність – на 18 %, когезія – на 13 %, розжовуваність – на 54 %.

5. Аналіз енергетичних витрат у процесі тонкого подрібнення м'ясної сировини на емульсаторі роторного типу дозволив пов'язати фізичні та реологічні параметри робочого середовища з геометричними параметрами пристрою та запропонувати математичні вирази для розрахунку інтегрованої потужності при проектуванні технологічного процесу та конструюванні емульсаторів.

6. За результатами досліджень розроблено технологічні інструкції з виробництва варених ковбас і паштету з використанням зубчастих емульсаторів.

7. Розроблено та виготовлено дві промислові моделі емульсаторів з подрібненням в одну та у дві стадії, продуктивністю, відповідно, 300 та 2400 кг/год. Промисловий емульсатор Я5-ФЕМ з подрібненням у дві стадії впроваджено на підприємстві СПД Дорогін «Брусилівські ковбаси». Питомий економічний ефект від впровадження емульсатора Я5-ФЕМ склав 185,4 грн./т продукції.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Вербицький, С. Б. Визначення параметрів процесу подрібнення м'ясної сировини в емульсаторах / С. Б. Вербицький // Вісник аграрної науки. - 2007. - № 2. – С. 79-81.

Особистий внесок здобувача полягає у підготовці та проведенні дослідів, опрацюванні результатів, підготовці матеріалів до друку.

2. Франко, О. В. Результати порівняльних досліджень тонкого подрібнення м'ясної сировини в одну та дві стадії / О. В. Франко, В. В. Шевченко, С. Б. Вербицький // Вісник аграрної науки. - 2007. - № 4. - С. 63-65.

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні питомої роботи різання та напруження пенетрації, підготовці матеріалів до друку.

3. Вербицький, С. Б. Вплив швидкості обертання різального ротора на енергетичні показники та напруження стандартної пенетрації фаршу при тонкому подрібненні м'ясної сировини / С. Б. Вербицький, В. В. Шевченко // Зб. наук. праць Луган-

ського нац. аграрн. університету. Сер. : Техн. науки. № 88 - Луганськ : Видавництво ЛНАУ, 2008. - С. 217-221.

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні питомої роботи різання та напруження пенетрації, підготовці матеріалів до друку.

4. Вербицький, С. Б. Залежність нагрівання подрібнювальних ковбасних фаршів від тривалості роботи емульсатора / С. Б. Вербицький // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. / Голов. ред. О. О. Шубін; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. - 2012. - Вип. 28. - С. 10-15.

Особистий внесок здобувача полягає у підготовці та проведенні дослідів, опрацюванні результатів, підготовці матеріалів до друку.

5. Вербицький, С. Б. Технологічні параметри тонкого подрібнення м'ясної сировини на емульсаторі та їх вплив на питомі енерговитрати процесу і якість оброблених фаршів / С. Б. Вербицький // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. - 2013. - Том 15, № 1 (55) : Технічні науки. Сер. Харчові технології. - С. 25-32.

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні дослідів з тонкого подрібнення м'ясної сировини, визначенні показників процесу, підготовці матеріалів до друку.

6. Вербицький, С. Б. Цифровий аналіз мікрофотографій – метод оцінки ступеня тонкого измельчення м'ясного сир'я / С. Б. Вербицький, С. А. Старчевой // Мясная индустрия. - 2011. - № 1. - С. 40-42.

Особистий внесок здобувача полягає в обґрунтуванні методу цифрового аналізу мікрофотографій, підготовці матеріалів до друку.

7. Вербицький, С. Б. Визначення параметрів процесу тонкого подрібнення м'ясної сировини / С. Б. Вербицький // Вісник аграрної науки. - 2004. - № 8. - С. 64-67.

Особистий внесок здобувача полягає у підготовці та проведенні дослідів, опрацюванні результатів, підготовці матеріалів до друку.

8. Вербицький, С. Б. Тонке подрібнення фаршу / С. Б. Вербицький // Харчова і переробна промисловість. - 2006. - № 5. - С. 25-27.

Особистий внесок здобувача полягає у підготовці та проведенні дослідів, опрацюванні результатів, підготовці матеріалів до друку.

9. Вербицький, С. Б. Вплив геометричних параметрів емульсатора на ступінь подрібнення ковбасних фаршів / С. Б. Вербицький, В. В. Шевченко, М. О. Шугай // Вісник аграрної науки. - 2011. - № 6. - С. 41-43.

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні дослідів, математичній обробці результатів, підготовці матеріалів до друку.

10. Вербицький, С. Б. Математична модель процесу тонкого подрібнення м'ясної сировини на роторному емульсаторі / С. Б. Вербицький, С. О. Старчевой, Ю. В. Майборода // Вісник аграрної науки. - 2011. - № 9. - С. 51-54.

Особистий внесок здобувача полягає у розробленні алгоритму розрахунку інтегрованої потужності емульсатора, підготовці матеріалів до друку.

11. Вербицький, С. Б. Зависимости структурно-механических характеристик тонкоизмельченных фаршевых масс от геометрических параметров эмульсатора / С. Б. Вербицький, В. В. Шевченко, М. А. Шугай // Пищевая промышленность: наука и технологии. - 2010. - № 3(9). - С. 55-59.

Особистий внесок здобувача полягає у здійсненні математичного моделювання залежностей, підготовці матеріалів до друку.

12. Пат. 69697 А Україна, МПК⁷ А 23 L 1/317, В 01 F 3/14. Спосіб виготовлення паштету та пристрій для його здійснення / Г. О. Єресько, С. Б. Вербицький, В. В. Шевченко, О. В. Франко, Л. І. Войцехівська, Л. Л. Назарчук; заявник і патентовласник Технологічний інститут молока та м'яса Української Академії Аграрних Наук. – № 20031110406 ; заявл. 18.11.03 ; опубл. 15.09.04, Бюл. № 9. - 4 с. : іл.

Особистий внесок здобувача полягає у розробленні конструктивної схеми пристрою та вузла тонкого подрібнення, оформленні заявки на патент.

13. Пат. 6724 U Україна, МПК⁷ А 23 L 1/317, В 01 F 3/14. Пристрій для тонкого подрібнення харчової сировини / Г. О. Єресько, В. В. Шевченко, С. Б. Вербицький, Л. Л. Назарчук, С. О. Старчевой ; заявники і патентовласники Єресько Г. О., Шевченко В. В., Вербицький С. Б., Назарчук Л. Л., Старчевой С. О., Технологічний інститут молока та м'яса Української Академії Аграрних Наук. - № 20041109109 ; заявл. 08.11.04 ; опубл. 16.05.05, Бюл. № 5. - 5 с. : іл.

Особистий внесок здобувача полягає у розробленні загального компонування пристрою та вузла динамічного ущільнення, оформленні заявки на патент.

14. Пат. 13706 U Україна, МПК (2006)А 23 L 1/317, В 01 F 3/14 (2006.01). Пристрій для виготовлення м'ясних та м'ясо-рослинних паштетів / Г. О. Єресько, В. В. Шевченко, С. Б. Вербицький, С. О. Старчевой; заявник і патентовласник Технологічний інститут молока та м'яса Української Академії Аграрних Наук. - № u200509648 ; заявл. 14.10.05 ; опубл. 17.04.06, Бюл. № 4. - 4 с. : іл.

Особистий внесок здобувача полягає у розробленні вузла виведення твердих включень з зони подрібнення, оформленні заявки на патент.

15. Вербицький, С. Б. Визначення енерговитрат у процесі тонкого подрібнення м'ясної сировини за допомогою подрібнювача роторного типу / С. Б. Вербицький // Програма і матеріали ІХ-ї міжнародної науково-технічної конференції «Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення та перспективи», 17 - 19 жовтня 2005 р. - У 2 ч. - К.: НУХТ. - 2005. - Ч. 2. - С. 21,22.

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні дослідів та визначанні енерговитрат при тонкому подрібненні та підготовці матеріалів до друку.

16. Вербицький, С. Б. Тонкое измельчение мясного сырья на эмульсификаторах в одну и две стадии: энергозатраты и качество обработки / С. Б. Вербицкий, В. В. Шевченко // Современные технологии производства и переработки сельскохозяйственного сырья для создания конкурентоспособных пищевых продуктов: Материалы Международной научно-практ. конференции / Волгогр. государств. техн. ун-т. - Волгоград, - 2007. - С. 283-288.

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні дослідів, узагальненні отриманих даних та підготовці матеріалів до друку.

17. Вербицький, С. Б. Визначення залежності структурно-механічних характеристик паштету від умов тонкого подрібнення м'ясної сировини / С. Б. Вербицький // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційні технології, проблеми якості і безпеки сировини та готової продукції у м'ясній та молочній промисловості», 27 - 28 листопада 2007 р. - К.: НУХТ. - 2007. – С. 128,129.

Особистий внесок здобувача полягає у підготовці та проведенні дослідів, узагальненні отриманих даних та підготовці матеріалів до друку.

18. Вербицький, С. Б. Залежність темпу нагрівання фаршів м'ясних виробів від тривалості роботи емульсатора / С. Б. Вербицький // Тези доповідей Міжнар. наук.-техн. конференції “Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодні та перспективи”, 27 - 28 вересня 2010 р. - К.: НУХТ. - 2010. - с. 25,26.

Особистий внесок здобувача полягає у підготовці та проведенні дослідів, узагальненні отриманих даних та підготовці матеріалів до друку.

19. Вербицький, С. Б. Влияние добавленной воды и скорости вращения ротора эмульсатора на процесс тонкого измельчения паштетного фарша / С. Б. Вербицкий, Ю. В. Майборода, С. А. Старчевой // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: Материалы III Международной научно-практ. конференции, посвященной 20-летию юбилею ГНУ КНИИХП Россельхозакадемии / Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. - Краснодар, - 2013. - С. 357-361.

Особистий внесок здобувача полягає у підготовці та проведенні досліджень, узагальненні отриманих даних та підготовці матеріалів до друку.

20. Вербицький, С. Б. Вплив швидкості обертання різального ротора та кількості доданої води на енергетичні показники подрібнення та якість фаршу ковбаси Яловичої / С. Б. Вербицький // Зб. праць III Міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства”. - К.: НУБіП. - 2013. - с. 238,239.

Особистий внесок здобувача полягає у підготовці та проведенні досліджень, узагальненні отриманих даних та підготовці матеріалів до друку.

АНОТАЦІЯ

Вербицький С.Б. Вдосконалення процесу тонкого подрібнення м'ясної сировини та розроблення емульсаторів роторного типу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв – Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2013.

Дисертацію присвячено дослідженню процесів тонкого подрібнення м'ясної сировини на емульсаторах роторного типу, визначенню впливу технологічних факторів та конструктивних параметрів зазначених машин на ступінь подрібнення, фізичні, а також на структурно-механічні властивості оброблених фаршевих мас, зокрема на показники профільного аналізу структури ТРА (Texture Profile Analysis). Запропоновано спосіб визначення енергетичних показників тонкого подрібнення м'ясної сировини з використанням можливостей перетворювача частоти. Розроблено та відпрацьовано алгоритм визначання розмірів часток тонкоподрібнених фаршевих мас шляхом мікрофотографування та комп'ютерного аналізу зображень.

Виявлено залежність темпу нагрівання фаршевих мас, які піддають тонкому подрібненню, від тривалості їхнього перебування у робочій зоні та кількості доданої води. Одержано залежності, що дозволяють призначати величину зазору між ротором і статором, виходячи з технологічних вимог, а також залежності структурно-механічних характеристик – твердості, когезії, пружності та розжовуваності – фаршевих мас від величин зазору між ротором і статором емульсатора та зазору між різальними пластинами статора. Розроблено математичну модель розподілу енерговитрат у процесі тонкого подрібнення м'ясної сировини на роторному емульсаторі багатозубчастої конструкції, що зв'язує фізичні та реологічні параметри робочого середовища з геометричними параметрами залученого для реалізації процесу технологічного пристрою, а також запропоновано математичний вираз для визначення інтегральної потужності емульсатора.

За результатами досліджень розроблено технологічні інструкції з виготовлення варених ковбас і паштету з використанням емульсатора, розроблено і виготовлено 2 моделі емульсаторів з подрібненням в одну стадію, а також емульсатор Я5-ФЕМ з подрібненням у дві стадії, який успішно впроваджено на виробництві. Новизну технологічних рішень підтверджено патентами України.

Ключові слова: багатозубчастий подрібнювач, дрібнодисперсні фарші, емульсатор, ступінь подрібнення, тонке подрібнення.

АННОТАЦІЯ

Вербицкий С.Б. Совершенствование процесса тонкого измельчения мясного сырья и разработка эмульсаторов роторного типа. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 Процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств – Национальный университет пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Киев, 2013.

Диссертация посвящена исследованию процессов тонкого измельчения мясного сырья на эмульсаторах роторного типа, определению влияния технологических факторов и конструктивных параметров указанных машин на степень измельчения, физические, а также структурно-механические свойства обработанных фаршевых масс, в частности на показатели профильного анализа структуры ТРА (Texture Profile Analysis).

Предложен способ определения энергетических показателей тонкого измельчения мясного сырья с использованием штатных функций преобразователя частоты. Разработан и опробован алгоритм определения размеров тонкоизмельченных фаршевых масс посредством микрофотографирования и компьютерного анализа изображений.

Исследования влияния частоты вращения режущего ротора и количества добавленной воды на структурно-механические свойства тонкоизмельченных фаршей показали, что с увеличением частоты вращения режущего ротора как на первой, так и на второй стадии измельчения наблюдалось увеличение значений удельной работы резания. В обоих исследованных случаях (измельчение в одну и в две стадии) увеличение количества добавленной воды вызывало уменьшение удельной работы

резания, а в отношении напряжения стандартной пенетрации наблюдался обратный эффект. Путем математического моделирования получены зависимости для определения рациональных значений частоты вращения ротора эмульсатора.

Исследования продолжительности пребывания обрабатываемой массы внутри рабочей полости эмульсатора на первой и второй стадии тонкого измельчения показали, что, в пределах выбранного диапазона частоты вращения ротора, время пребывания фаршей колбас Говяжьей и Останкинской в зоне измельчения не отличалось значительно, однако в первом случае было большим, а во втором – меньшим. Заметно меньшей была продолжительность пребывания в рабочей зоне фарша паштета Украинского. Для обеих стадий тонкого измельчения и всех исследованных значений содержания добавленной воды кривые зависимостей имеют характер экспоненциального спада 1 порядка.

В результате исследований темпа нагревания фаршевых масс в зависимости от продолжительности пребывания в рабочей зоне тонкого измельчения и количества добавленной воды обнаружено, что сначала происходит резкое нагревание рабочей среды в результате контакта с режущими органами. На втором этапе процесса происходит стабилизация и замедление темпа нагревания. На последнем этапе процесса наблюдается повышение темпа нагревания, что объясняется участием в процессе нагревания уже нагретых элементов конструкции эмульсатора. Все указанные участки кривых были промоделированы стандартными линейными функциями.

Исследования зависимости степени измельчения – диаметра Фере частиц фарша колбас Говяжьей и Останкинской, а также паштета Украинского, от величины зазора между ротором и статором эмульсатора, зазор между пластинами которого составлял 0,3 мм и 0,5 мм, при тонком измельчении в одну и две стадии показали, что во всех исследованных случаях увеличение зазора между ротором и статором влияло на степень измельчения: диаметр Фере частиц фаршей последовательно увеличивался по экспоненциальному закону.

Получены зависимости, позволяющие назначать величину зазора между ротором и статором, исходя из технологических требований, а также зависимости структурно-механических характеристик – твердости, сцепления частиц, упругости и пережевываемости – фаршевых масс от величин зазора между ротором и статором эмульсатора и зазора между режущими пластинами статора. Моделирование зависимости твердости фарша колбасы Говяжьей от величины зазора между ротором и статором, а также от величины зазора между пластинами статора при помощи разных 3D моделей показало, что экспериментальные поверхности лучше всего описывает стандартный полином второго порядка.

Разработана математическая модель, которая охватывает параметры рабочей среды, элементов рабочей полости технологического устройства, а также известные законы физики и гидравлики, и поэтому относится к третьему уровню математических моделей технологических процессов. Разработанная математическая модель распределения энергетических затрат в процессе тонкого измельчения мясного сырья на роторном эмульсаторе многозубчатой конструкции связывает физические и реологические параметры рабочей среды с геометрическими параметрами примененного для реализации процесса технологического устройства. По результатам ма-

тематического моделирования предложено математическое выражение для определения интегральной мощности эмульсатора.

По результатам проведенных исследований разработаны технологические инструкции по изготовлению вареных колбас и паштета с использованием эмульсатора, разработаны и изготовлены 2 модели эмульсаторов (Я5-ФПФ и Я5-ФП2Ф) с измельчением в одну стадию, а также эмульсатор Я5-ФЕМ с измельчением в две стадии, который успешно внедрен на производстве. Новизна технологических решений подтверждена патентами Украины.

Ключевые слова: мелкодисперсные фарши, многозубчатый измельчитель, степень измельчения, тонкое измельчение, эмульсатор.

SUMMARY

Verbytskyi S.B. Enhancing process of raw meats' comminuting and development of rotor-type flow cutters. - Manuscript.

The dissertation for Candidate of Technical Sciences scientific degree on specialty 05.18.12 – processes and equipment for food, microbiological and pharmaceutical production. – National University of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2013.

The dissertation is devoted to the research of the formation process of comminuted ground meat systems and development of rotor-type flow cutters, determination of the effect of technological factors and the said machines' design parameters on the degree of comminuting, physical and rheological properties of the processed ground meats including Texture Profile Analysis (TPA) parameters. The technique to determine energy parameters when comminuting raw meats was proposed, this technique based on the standard options of a frequency transducer. The algorithm for determination of particles' dimensions of comminuted ground meats by means of taking microphotographs and computer analyzing of images was developed and tried out.

The dependence of ground meats' heating rate when comminuted on the duration of their stay in the processing zone and the content of added water was determined. The dependences are obtained making it possible to specify the gap's width between rotor and stator according to the technological parameters together with dependences of the rheological parameters – hardness, cohesion, springiness and chewiness – of ground meats on the gap's width between rotor and stator and the gap's width between rotor's cutting blades. The mathematical model for power inputs in the process of comminuting raw meats by a flow cutter of the multi-cog design is developed, this model connecting physical and rheological parameters of the working medium with the geometrical parameters of the appliance used to fulfill the technological process, a mathematical expression of the integral power consumption of the flow cutter is also proposed.

Using the results of the research technological instructions for manufacturing cooked sausages and a pâté with the use of the emulsifier were developed, 2 models of multi-cog single stage flow cutters were also developed and manufactured together with the double stage Ya5-FEM flow cutter which was successfully used in meat industry. Novelty of the technological solutions is confirmed by the patents of Ukraine.

Keywords: comminuting, degree of comminuting, fine disperse ground meats, flow cutter, multi-cog flow cutter.