УДК 66.066.3: 665.328

Сухенко В., канд. техн. наук, доц. (Національний університет біоресурсів і природокористування України)

Модифікація шнеків м'ясоподрібнювальних вовчків електрофоретичними еластичними покриттями

Доведено необхідність застосування еластичних транспортних органів вовчків для забезпечення належної структури фаршу.

Ключові слова: шнек, м'ясо, подрібнення, еластичні покриття, електрофоретичні покриття.

Суть проблеми. Під час переробки м'ясної сировини на підприємствах АПК потрібно забезпечити належну якість напівфабрикатів і готової продукції. Тому конструкційні параметри робочих органів переробних машин повинні повністю відповідати фізико-механічним властивостям перероблюваної сировини. Це стосується також однієї з основних машин в технологічних лініях переробних комплексів АПК з виробництва фаршів і напівфабрикатів для ковбас – вовчка.

На практиці експлуатації вовчків виявлено, що у разі зниження пропускної спроможності різального механізму або за надмірної подачі м'ясної сировини металевий шнек починає руйнувати структуру м'яса, перетирати його, вичавлювати сік. При цьому підвищується температура фаршу, що в підсумку позначається на якісних показниках готового продукту.

У зв'язку з цим необхідно вдосконалити процес продавлювання м'ясної сировини через різальний механізм вовчка і розробити подавальний шнек з еластичним робочим органом, здатним м'яко впливати на харчові продукти, що подрібнюються.

Мета роботи – дослідження процесу протискування м'ясної сировини через різальний механізм вовчка і розроблення подавального шнека, покритого електрофоретичним еластичним покриттям, що забезпечує високу якість виробленого фаршу.

Аналіз виконаних досліджень. Одним з перших, хто досліджував режими роботи вовчків, був А.І. Пелеєв [1]. В результаті цих досліджень було визначено залежності продуктивності, питомих витрат енергії від кількості різальних площин, діаметрів отворів вихідних ґраток та швидкості обертання ножів.

Автор роботи [2] отримав залежності тиску витікання м'ясопродуктів для граток вовчків з різними діаметрами вихідних отворів.

Для визначення тиску, що виникає в робочій камері вовчка перед різальним комплектом, автором роботи [3] провів серію експериментів, які дозволили визначити, що найбільший боковий тиск у камері стискання вовчка МИМ-105 становить $6 \cdot 10^5$ Па, а осьовий тиск досягає $8 \cdot 10^5$ Па.

Разом з тим, автори робіт [4,5] та ін. відмічають недостатність проведених досліджень і необхідність керування процесом протискування м'яса через гратки вовчка для забезпечення належного структуроутворення фаршу. Це можна зробити за рахунок застосування шнека, здатного перепускати сировину у зворотному напрямку у разі підвищення тиску в різальному вузлі. Для отримання еластичного покриття на зовнішньому діаметрі шнека треба застосовувати електрофоретичні покриття на основі фторопласту – 4Д, модифікованого графітом для підвищення гнучкості [6, 7].

Результати досліджень. Вважаємо, що механічна система (рис. 1), яка складається зі шнека, разом з ножем і продуктом, що знаходиться між поверхнею шнека і внутрішньою поверхнею корпуса, має один ступінь свободи. Це означає, що кінематичні характеристики шнека, ножа і подрібнюваного продукту, що рухається, повністю визначаються обертальним рухом шнека. Крім того, вважаємо, що процес руху продукту є таким, що встановився, і баланс силових дій на шнек з боку двигуна і продукту призводить до одного рівняння рівноваги, яке записується за допомогою принципу можливих переміщень для системи з одним ступенем свободи:

$$(M_в - M_c) \cdot \delta\varphi - (1 - K) \cdot P_{доп} \cdot S_2 \cdot \delta S = 0. \quad (1)$$

Після ряду перетворень знайдемо крутний момент на валу шнека:

$$M_в = \frac{8Q_м}{hd^2 n\rho}\left(f(\omega) + \frac{P_{доп} R_2^2 h}{2\omega}\cos\alpha\right), \quad (2)$$

де в рівняннях (1, 2) $M_в$ – крутний момент, що передається шнеку з боку двигуна, Нм; M_c – момент сил опору обертанню, обумовлений наявністю тертя продукту по поверхні шнека під час його обертального руху і опором різання, що виникає в парі гратка-ніж; $P_{доп}$ – допу-

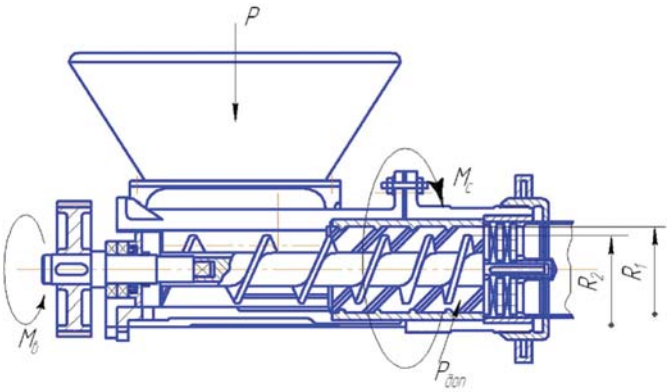

Рис. 1 – **Механічна система вовчка: *P* – тиск на вході у вовчок; $P_{доп}$ – допустимий тиск перед граткою**

© Сухенко В., 2012

стимий тиск на продукт перед граткою, Па; S_2 – площа перерізу шнека, перпендикулярного осі z (вісі шнека), м²; ω – кутова швидкість обертання шнека, с⁻¹; $Q_м$ – масова витрата продукту, кг/год; ρ – щільність продукту, кг/м³; h – крок гвинтової лінії на радіусі шнека R_2, м; d – діаметр отворів гратки, м; R_2 – радіус шнека, м; α – кут нахилу гвинтової лінії шнека, град; $f(\omega)$ – функція, що зв'язує момент опору зі швидкістю; n - кількість отворів у гратці; δS – можливе переміщення продукту вздовж корпуса за повної відсутності обертання продукту навколо осі z, тобто тільки під час його поступального переміщення; $\delta\varphi$ – можливе кутове переміщення шнека навколо вісі z; K – коефіцієнт, що враховує ступінь захоплення продукту в обертальний рух. (K=0 – немає обертального руху продукту, а при K=1 – повне захоплення продукту в обертальний рух).

У рівнянні (2) величина $P_{доп}$ для різних видів продукту має бути визначена, виходячи з додаткових міркувань, наприклад, шляхом проведення серії експериментальних досліджень для визначення граничних тисків, що не порушують структури продукту.

Рівняння (2) зв'язує масову витрату $Q_м$ і крутний момент двигуна $M_в$ прямою пропорційною залежністю, тобто при $Q_м$ =0 і $M_в$=0.

Проте це не зовсім так, і рівняння (2) треба розуміти в тому сенсі, що при $Q_м$=0 рух продукту в просторі між шнеком і корпусом або перебудовується (з'являється зворотний рух), або продукт залучається лише до обертального руху. Момент сил опору, що виникає при цьому, значно менший від моменту сил опору за наявності поступального руху продукту. В цьому випадку і крутний момент двигуна буде значно менший, ніж за наявності поступального руху продукту.

В процесі подрібнення м'яса у вовчках найбільший тиск виникає у кінці шнека на внутрішній поверхні граток, тому що тут відбувається продавлювання м'яса через різальний механізм. Знаючи величину тиску витікання м'яса через гратку, за якого починає відбуватися руйнування структури м'яса, і використовуючи експериментальну залежність між максимальним тиском та величиною зазору між зовнішнім діаметром шнека і корпусом δ, можна так підібрати геометричні і фізичні характеристики шнека, що за гранично допустимого тиску $P_{доп}$ витки шнека почнуть відгинатися в напрямку, протилежному напрямку переміщення м'яса, утворюючи при цьому зазор, через який частина продукту перетече за виток шнека, а поступове продавлювання м'яса, що залишилося перед гратками, продовжиться.

Нижче наведені результати експериментальних досліджень з визначення величини тиску, за якого відбувається протискування свинини і яловичини через гратки вовчка без руйнування структури м'яса, – $P_{доп}$. Експерименти проводилися на випробувальному стенді на базі гідравлічного преса з манометром. М'ясо протискувалось поршнем через гратки з різними діаметрами отворів, які були встановлені в гільзі (рис. 2).

В результаті обробки експериментальних даних щодо протискування м'яса яловичини і свинини через гратки з різним діаметром отворів (рис. 3) були отримані аналітичні залежності для розрахунку тиску витікання:

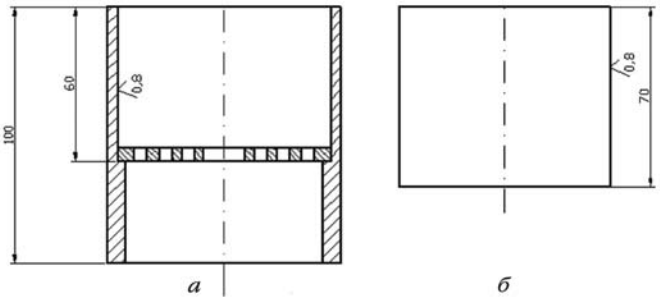

Рис. 2 – **Деталі випробувального стенда для протискування фаршу через гратки вовчка: *а* – гільза з установленою граткою; *б* – поршень**

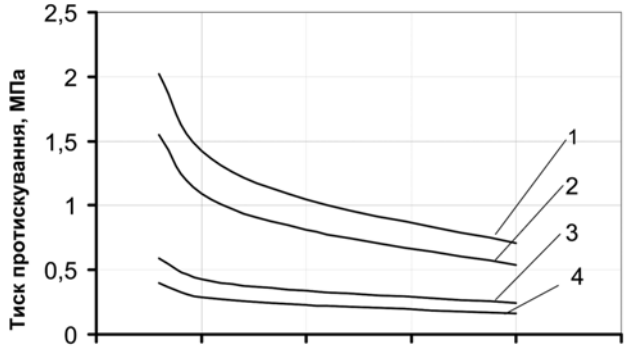

Рис. 3 – **Залежність тиску протискування від діаметра отворів граток для свинини і яловичини: *1* – яловичина (*v* = 0,00083 м/с); *2* – яловичина (*v* = 0,00018 м/с); 3 – свинина (*v* = 0,00083 м/с); 4 – свинина (*v* = 0,00018 м/с)**

для яловичини:

$$P = 13{,}73 \cdot 10^4 \cdot d_0^{-0{,}87} \cdot V_n^{0{,}17} \cdot \varphi_0 , \qquad (3)$$

для свинини:

$$P = 13{,}3 \cdot 10^4 \cdot d_0^{-0{,}79} \cdot V_n^{0{,}25} \cdot \varphi_0 , \qquad (4)$$

де $d_о$ – діаметр отворів гратки, м; $V_п$ – швидкість протискування, м/с; φ_0 – коефіцієнт ефективності граток.

Дослідним шляхом було встановлено, що структура м'яса починає руйнуватися, якщо протискування через гратки яловичини відбувається при тиску більшому за 3,7 МПа. За такого тиску ще зберігається цілісність структури м'яса і практично відсутнє руйнування його частинок (рис. 4, *а, б*). Відповідно, проектуючи еластичний шнек, необхідно враховувати, що максимально допустимий тиск на яловичину перед гратками, який не викликає руйнування його структури, $P_{доп}$ = 3,7·10⁶ Па.

Дослідним шляхом було встановлено, що структура свинини починає руйнуватися, якщо до неї прикласти тиск, більший за 2,5 МПа. За такого тиску ще зберігається цілісність структури м'яса і, практично, немає руйнування сполучної тканини (рис. 4, *в, г*). Відповідно, проектуючи гнучкий шнек, необхідно враховувати, що максимально допустимий тиск на свинину перед гратками, який не викликає руйнування її структури, $P_{доп}$ = 2,5·10⁶ Па.

Було виконано розрахунок вигину витків шнека з еластичною зовнішньою гвинтовою поверхнею методом кінцевих елементів. За допомогою засобів моделювання геометрії в програмі *Nastran* створено геометричну модель шнека, а методом кінцевих елементів розраховані зміщення його еластичних кінцівок,

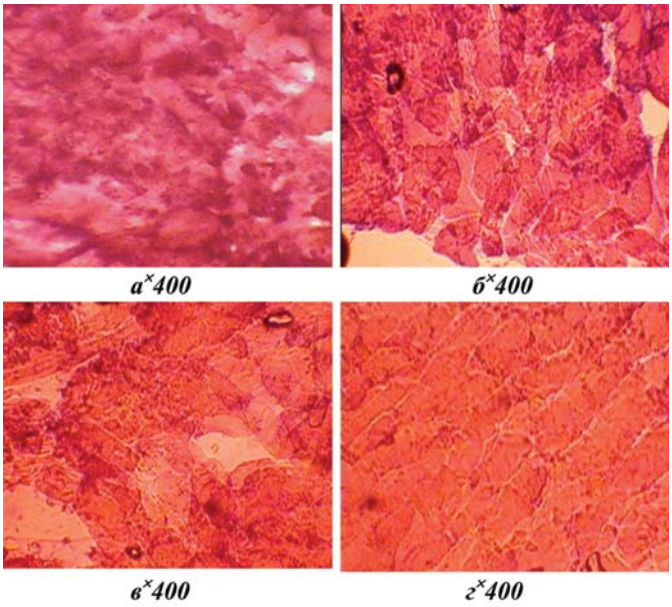

Рис. 4 – **Зміна структури яловичини (*а, б*) і свинини (*в, г*) від тиску: *а, в* – 5 мПа; *б* – 3,7 МПа; *г* – 2,5 МПа**

утворених модифікованими фторопластовими електрофоретичними покриттями (рис. 5).

На основі математичного моделювання процесу переміщення м'яса еластичним робочим органом і застосування методу кінцевих елементів для розрахунку вигину витків гнучкого шнека було запропоновано основні геометричні і фізичні параметри для конструювання шнеків цього типу, які можуть бути використані у вовчках зі стандартизованим рядом вживаних вихідних граток.

Спираючись на результати моделювання і розрахунків та з використанням розробленої методики розрахунку еластичного подавального шнека, було виготовлено експериментальний зразок шнека з електрофоретичним покриттям для вовчка МІМ-300.

Покриття осаджували у водяному поліелектроліті, до складу якого входили: емаль – плівкоутворювач ВФЛ-149 «Е», наповнювач – суспензія фторопласту Ф-4ДВ і модифікатор – суспензія графіту [7].

В процесі випробування експериментального зразка на м'ясопереробному підприємстві «Аверс» у Києві було вироблено дослідну партію сосисок «Молочних». Для контролю було вироблено той же сорт сосисок на традиційному обладнанні. Аналіз змін органолептичних показників, а також гістологічний аналіз виробленої продукції показали, що досліджувані зразки, вироблені на вовчку з еластичним шнеком, мають кращі показники якості і відповідають встановленим вимогам до цих м'ясопродуктів. Фарш, отриманий після вироблення на вовчку з еластичним шнеком, мав однорідніший і щільнішу консистенцію. В ньому були відсутні об'єми з локальним руйнуванням структури м'яса, у порівнянні із структурою фаршу, отриманого на вовчку зі звичайним шнеком.

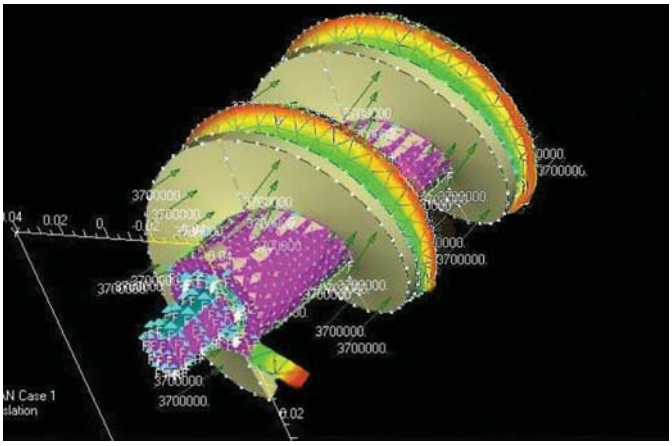

Рис. 5 – **Відображення результатів розрахунку**

Висновки.

1. Доведено перевагу процесу протискування м'ясної сировини через гратки вовчка з використанням еластичного шнека, тому що він дозволяє отримувати якісну м'ясну сировину без порушеної структури.

2. Розроблено математичну модель і методику інженерного розрахунку шнека вовчка з еластичним електрофоретичним покриттям.

3. Досліджено вплив силових чинників на мікроструктуру фаршу та визначено гранично допустимі рівні тиску для переробки сировини різного походження у вовчках, що є підґрунтям для проектування еластичних шнеків.

Список літератури

1. Пелеев А.И. Определение зависимости давления истечения мяса через решетки от диаметра отверстий, скорости истечения и степени деформации [Текст] // А.И. Пелеев, С.А. Пелеев // Мясная индустрия СССР. – 1973. – №5. – С. 31-32.

2. Горяев В.В. Совершенствование конструкций и методики расчета режущего механизма волчков: [Текст] // дис. ... канд. техн. наук. – М.: МТИММП, 1989. – 185 с.

3. Андрющенко А.Г. Исследование эксплуатационных и конструктивных параметров волчков малой производительности с целью их совершенствования: дис. ... канд. техн. наук. [Текст] – М.: МТИММП, 1979.

4. Максимов Д.А. Исследование процесса истечения мяса через решетку волчка [Текст] // Д.А. Максимов, И.М. Тамбовцев, О.И. Якушев // Проблемы совершенствования холодильной техники и технологии: Сб. науч. тр. – Вып. №4. – М.: МГУПБ, 2008. – С.137-141.

5. Пат. 70749 Российская Федерация, МПК7 А 22 С 17/00. Устройство для измельчения пищевых продуктов / Якушев О.И., Ивашов В.И., Сидоряк А.Н., Максимов Д.А.; – заявл. 20.06.2007; опубл. 20.02.2008; бюл. № 5. – 2 с.

6.Семенов А.П. Металлофторопластовые подшипники. [Текст] // Семенов А.П., Савинский Ю.Э. – М.: Машиностроение, 1976. – 300 с.

7. Сухенко Ю.Г. Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості. [Тест] // Сухенко Ю.Г., Некоз О.І., Стечишин М.С. – К.: Елерон, 1993. – 107 с.

Аннотация. *Доказана необходимость применения эластичных транспортных органов волчков для обеспечения надлежащей структуры фарша.*

Summary. *Indications of the need for flexible transportation of tops to ensure the proper structure of minced.*

Стаття надійшла до редакції 26 червня 2012 р.