

**Полевода Ю.А.**

к.т.н., доцент

**Симонік Б.В.**

аспірант

**Вінницький національний  
аграрний університет****Polievoda Y.**

Ph.D., Associate Professor

**Symonik B.**

postgraduate student

**Vinnitsia National Agrarian  
University****УДК 664:532****DOI: 10.37128/2306-8744-2026-1-16****ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ  
ГВИНТОВИХ НАГНІТАЧІВ  
ФАРШОВИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ  
МОДЕЛЮВАННЯ РЕОЛОГІЧНОЇ  
ПОВЕДІНКИ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ**

У статті розглянуто особливості транспортування м'ясного фаршу у шнекових системах з урахуванням його в'язко-пружних властивостей. Показано, що процес переміщення продукту в робочій камері визначається співвідношенням сил в'язкісного тертя між фаршем, шнеком і стінками корпусу. На відміну від ньютонівських рідин, фарш характеризується наявністю граничного напруження зсуву та модуля пружності, що зумовлює ризик механодеструкції структури при перевищенні критичних швидкостей зсуву. Це призводить до погіршення якості продукту, зокрема втрати вологи та виділення жиру.

Проаналізовано вплив геометричних параметрів шнека та робочої камери на ефективність транспортування фаршу, зокрема для сировини групи В, яка має підвищену в'язкість і складну структурну організацію. Встановлено, що ключовими факторами є діаметр шнека, кут підйому гвинтової лінії, глибина каналу та радіальний зазор між шнеком і корпусом. Надмірне зменшення зазору спричиняє локальний перегрів, тоді як його збільшення призводить до зростання зворотних перетоків і втрат продуктивності.

Запропоновано інтегральний критерій ефективності транспортування, що враховує співвідношення продуктивності та витрат енергії на подолання в'язкого тертя. Розроблено математичну модель процесу, яка базується на суперпозиції прямого та зворотного потоків і враховує температурну залежність в'язкості фаршу. Показано, що дисипація енергії призводить до нагрівання продукту, зниження його в'язкості та погіршення загальної ефективності процесу.

На основі побудови тривимірної поверхні відгуку визначено раціональні значення геометричних параметрів шнека. Встановлено, що максимум ефективності досягається при діаметрі і куті підйому, що забезпечує баланс між продуктивністю, енергоємністю та збереженням структури фаршу. Запропонований підхід дозволяє перейти від емпіричного підбору до аналітичного проектування шнекових систем і підвищити ефективність процесів у м'ясопереробній галузі.

**Ключові слова:** фарш, шнек; критерій ефективності; нагнітання, моделювання, в'язко-пружні показники, частота обертання.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ  
ГВИНТОВИХ НАГНІТАЧІВ ФАРШОВИХ  
СИСТЕМ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ  
РЕОЛОГІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ М'ЯСНОЇ  
СИРОВИНИ © 2026 by Полевода Ю.А.,  
Симонік Б.В. is licensed under CC BY 4.0

**Постановка проблеми.** Процес транспортування м'ясного фаршу в робочій камері базується на принципах в'язкісного тертя. Просування продукту відбувається за умови, коли сила тертя в стінку корпусу перевищує силу тертя в поверхню шнека. На відміну від ньютонівських рідин, фарш характеризується наявністю

граничного напруження зсуву або  $\sigma_{\max}$  та модуля пружності  $E$ . При перевищенні критичних швидкостей зсуву виникає механодеструкція білкових волокон, що призводить до руйнування структури, синерезису (відсікання вологи) та виділення жирової фази.

**Аналіз останніх досліджень та**



**публікацій.** Збереження цілісності структури продукту є пріоритетним завданням сучасної м'ясопереробної галузі. Вирішальну роль у цьому процесі відіграє геометрія робочих органів [1, 2]. Параметри шнека мають забезпечувати ламінарний режим течії, за якого діюче напруження зсуву  $\tau$  не перевищує межу міцності структури:  $\tau < \sigma_{max}$ .

Основним джерелом небажаного тепловиділення є дисипація енергії у радіальному зазорі  $\delta$  між гребенем шнека та корпусом – зоні максимальних градієнтів швидкості. Надмірне зменшення зазору  $\delta$  призводить до локального перегріву фаршу (зокрема, жировмісної сировини групи А), тоді як його збільшення зумовлює зростання зворотних перетоків. Це вимагає підвищення частоти обертання шнека для підтримки заданої продуктивності, що повторно ініціює термічне навантаження.

Жировмісна сировина групи А – це різновид м'ясної сировини з підвищеним вмістом жиру та відносно невеликою кількістю м'язової тканини. До неї відносять жир-сирець, підшкірний і внутрішній жир, а також жирні обрізки м'яса. Така сировина використовується у виробництві м'ясних продуктів для збільшення їх калорійності, покращення смакових якостей, соковитості та формування необхідної текстури фаршу. Жировмісну сировину групи А вводять до складу ковбас, паштетів та інших виробів у визначених пропорціях для досягнення потрібних технологічних і органолептичних характеристик.

М'ясний фарш категорії В (групи В) – це м'ясний напівфабрикат, у якому масова частка м'язової тканини (чистого м'яса без жиру та сполучної тканини) становить від 40 % до 60 %. Окрім м'язової тканини, такий фарш містить значну кількість жиру та сполучних тканин (сухожилля, плівки), а також, залежно від рецептури, може включати різні добавки. Фарш цієї категорії є джерелом білка та вітамінів, зокрема групи В (наприклад, В12), а також заліза, проте він більш калорійний порівняно з категоріями А та Б через підвищений вміст жиру. Його найчастіше використовують для приготування страв, де важлива соковитість, таких як котлети, тюфтельки або начинки для пирогів. За класифікацією м'ясних напівфабрикатів, категорії розподіляються за вмістом м'язової тканини таким чином: категорія А – понад 80 %, категорія Б – від 60 % до 80 %, категорія В – від 40 % до 60 %, категорія Г – від 20 % до 40 %, категорія Д – менше 20 %.

Для в'язко-пружних фаршів (група В) оптимальний зазор має корелювати з характерним розміром структурних включень, забезпечуючи їх вільне проходження без заклинювання. Суттєвий вплив на процес також мають крок шнека  $S$  та глибина каналу  $h$ , які визначають ступінь компресії продукту перед формуючим вузлом [2, 5, 6].

Шляхом оптимізації кута підйому гвинтової

лінії  $\alpha$  та кроку  $S$  при константному діаметрі  $D$ , стає можливим перетворення кінетичної енергії потоку в потенційну енергію тиску з мінімальною дисипацією тепла. Це безпосередньо знижує енергоємність процесу нагнітання та запобігає термічній деградації продукту [2, 3, 4].

Таким чином, наукова задача (**мета**) полягає у синтезі геометрії шнека на основі функціональної залежності від реологічних констант  $E$  та  $\sigma_{max}$ . При цьому робочу камеру слід розглядати не як пасивний циліндр, а як нерухомий робочий орган, що безпосередньо бере участь у формуванні поля напружень та керуванні потоком.

Встановлення раціональних геометричних параметрів шнека дозволяє кількісно оцінити їхній вплив на інтегральний критерій ефективності транспортування фаршу  $K_{opt}$ . Даний критерій виступає цільовою функцією оптимізації, що поєднує в собі показники питомої продуктивності, енергоємності процесу та ступеня збереження якісних характеристик сировини. Таким чином, пошук екстремуму  $K_{opt}$  у межах визначеного реологічного вікна дає змогу синтезувати конструкцію нагнітача, яка забезпечує максимальну пропускну здатність системи при мінімальному механічному та термічному впливі на структуру м'ясного фаршу.

**Виклад основного матеріалу.** Для встановлення раціональної геометрії шнека проведемо побудову об'ємної поверхні відгуку, яка відображає сумарний вплив діаметра шнека  $D$  та кута підйому гвинтової лінії  $\alpha$  на інтегральний критерій ефективності транспортування фаршу. Встановлення раціональної геометрії шнека визначає вплив на інтегральний критерій ефективності транспортування фаршу  $K_{opt}$ . Даний критерій характеризує корисну роботу нагнітача відносно витраченої енергії на тертя. Це показник того, скільки продукту отримуємо на кожен джоуль витраченої енергії. Якщо  $K_{opt}$  низький – гриється фарш тертям, не переміщуючи його. Коли  $K_{opt}$  максимальний – знайдено ідеальний баланс, де шнек працює найефективніше. Визначення значення критерій ефективності транспортування фаршу  $K_{opt}$  проводимо виразом:

$$K_{opt} = \frac{Q}{N_{frict}}, \quad (1)$$

де  $Q$  – об'ємна продуктивність, м<sup>3</sup>/с;  $N_{frict}$  – потужність, що витрачається на подолання в'язкого тертя в робочій камері, Вт.

Такий підхід дозволяє перейти від окремих залежностей до комплексної оцінки енергоефективності процесу. При необхідності переходу до масової продуктивності використовується залежність  $M = Q\rho$ , де  $\rho$  – густина м'ясної сировини кг/м<sup>3</sup>.

Для аналітичного опису масопереносу використано модель розгортки гвинтового каналу



на площину. Розглядаючи фарш як аномально-в'язку рідину, що рухається у каналі прямокутного перерізу шириною  $B$  та висотою  $h$ , загальна продуктивність  $Q$  визначається, як суперпозиція двох незалежних потоків: прямого потоку  $Q_d$ , та зворотного потоку  $Q_p$ .

Прямий потік  $Q_d$  зумовлений обертанням шнека та силами тертя продукту об стінки камери (фрикційний потік). Швидкість цього потоку пропорційна частоті обертів  $n$  та периферійній швидкості  $D \cdot n$ . З урахуванням розподілу швидкостей по глибині каналу, об'ємний рух описується як:

$$Q_d = \frac{\pi^2 D^2 h \cdot n \cdot \sin \alpha \cos \alpha}{2}, \quad (2)$$

де  $D$ ,  $h$  – геометрія, яку ми вдосконалюємо.

Зворотний потік  $Q_p$ , що виникає внаслідок дії градієнта тиску  $\Delta P/L$ , який створює коноїдальна насадка. Ця складова протидіє основному руху і залежить від геометричних параметрів зазору в кубічній залежності та зворотно пропорційна ефективній в'язкості фаршу  $\mu_{eff}$ .

$$Q_p = \frac{\pi D h^3 \sin^2 \alpha}{12 \cdot \mu_{eff}} \cdot \frac{\Delta P}{L}, \quad (3)$$

де  $h$  – глибина каналу, м;  $n$  – частота обертання,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $\Delta P$  – перепад тиску, Па;  $\mu_{eff}$  – ефективна в'язкість фаршу, Па·с;  $L$  – довжина шнека, м.

Коефіцієнти 2 та 12 у знаменниках формул (2 і 3) мають чітке гідродинамічне походження. Так число 2 у першому доданку відображає середню швидкість потоку при лінійному розподілі (ламінарний рух між нерухомим шнеком та рухомих корпусом). Число 12 у другому доданку є константою для плоскопаралельного потоку в'язкої рідини під дією перепаду тиску (рівняння Пуазейля).

Підсумкове рівняння продуктивності  $Q = Q_d - Q_p$  дозволяє здійснювати аналітичний пошук точки екстремуму. Зокрема, для фаршу групи В зі зростанням  $\Delta P$  (опір насадки) негативний вплив другого доданку  $Q_p$  нівелюється шляхом зменшення кута  $\alpha$ . Потужність в'язкого тертя  $N_{frict}$  – визначається як робота сил зсуву в каналі шнека та в зазорі між шнеком і корпусом:

$$N_{frict} = \frac{\mu_{eff} (\pi \cdot D \cdot n)^2 \cdot L \cdot \pi \cdot D}{h}. \quad (4)$$

Щоб зробити модель (1) адекватною реальності, нам потрібно доповнити  $K_{opt}$  двома критичними факторами: температурною залежністю в'язкості та дисипацією енергії. Базова формула (4) розрахована як інтегральна величина. Але для точного моделювання ми розглядаємо елементарну ділянку фаршу масою  $dm$ . На неї діє вектор сили тертя  $dF_{fr}$ , спрямований проти вектора швидкості  $v$ . Сила тертя в нашому випадку

описується законом Ньютона для в'язкого зсуву, але з урахуванням аномальної в'язкості (закон Оствальда-де Ваале):

$$\tau = k \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^{n_1},$$

де  $k$  – консистенція (міцність структури фаршу), Н або (Па);  $n_1$  – індекс течії (для фаршу  $n_1 < 1$ , що свідчить про розрідження при зсуві).

Температура  $T$  – це визначальний фактор впливу на стабільності  $K_{opt}$ . При роботі шнека частина потужності  $N_{frict}$  переходить у теплову енергію  $Q_{heat}$ . Це призводить до падіння в'язкості за експонентою:

$$\mu_{eff} = \mu_0 \exp\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right), \quad (5)$$

де  $E_a$  – енергія активації течії фаршу;  $R$  – універсальна газова стала.

Коли фарш нагрівається, його в'язкість падає. Зменшення в'язкості різко збільшує зворотний потік  $Q_p$  (він обернено пропорційний в'язкості). Продуктивність також падає. Коли потужність тертя нібито падає (стає легше транспортувати), але через падіння продуктивності загальний ККД  $K_{opt}$  йде вниз. Для впровадження цих факторів у розрахунок геометрії, ми вводимо коефіцієнт термомеханічної нестабільності. Тепер критерій буде виглядати, як динамічна система:

$$K_{opt}(D, \alpha, T) = \frac{Q_d - Q_p(\mu(T))}{N_{frict}(\mu(T))}. \quad (6)$$

Для забезпечення якості готового продукту та стабільності процесу нагнітання, розрахунок геометрії ( $D$ ,  $\alpha$ ) обмежений умовою недопущення перегріву. Сумарна температура фаршу на виході не повинна перевищувати критичного значення:

$$T_{out} = T \frac{N_{frict} Q(D, \alpha, T)}{Q(D, \alpha, T) \cdot \rho \cdot c_p} \leq [T_{cr}], \quad (7)$$

де  $[T_{cr}]$  для м'ясної сировини становить 42-45 °С.

Перевищення цієї межі призводить до різкого падіння  $K_{opt}$  за рахунок того, що знаменник експоненти у виразі зворотного потоку  $Q_p$  зменшує опір перетіканню швидше, ніж знижуються загальні енерговитрати.

Із цього випливає, що не можемо брати занадто великий діаметр – він генерує таку кількість тепла (через  $D^3$  у знаменнику), що в'язкість падає, і шнек починає перемішувати фарш на місці, замість того щоб штовхати його вперед. Оптимальний кут підйому гвинтової лінії тепер виступає як засіб мінімізації часу перебування фаршу в зоні тертя [5, 7].

При визначенні оптимальних  $D$  та  $\alpha$  враховано, що в'язкість фаршу  $\mu_{eff}$  є функцією локальної температури  $T$ , яка зростає внаслідок дисипації механічної енергії тертя. Розрахунок критерію ефективності  $K_{opt}$  проводився з

урахуванням граничного термічного режиму (не вище 40-45 °С для фаршів групи В), що обмежує максимальний діаметр шнека  $D$  через зростання лінійної швидкості  $v$  та інтенсивності тепловиділення. Враховуючи вище наведені впливові значення на критерій  $K_{opt}$ , його загальний критерій (базовий вигляд) буде як відношення чистої продуктивності до витраченої потужності:

$$K_{opt}(D, \alpha, T) = \frac{\frac{\pi^2 D^2 h n \sin \alpha \cos \alpha}{2} - \frac{\pi D h^3 \sin^2 \alpha}{12 \mu_{eff}}}{\frac{\mu_{eff} (\pi D n)^2 \cdot L \cdot \pi \cdot D}{h}} \quad (8)$$

Після математичних скорочень спільних членів ( $\pi$ ,  $D$ ,  $n$ ), ми отримуємо фінальну функцію, за якою розраховані поверхні відгуку на рис. 1 та рис. 2:

$$K_{opt}(D, \alpha) = \frac{h^2 \sin \alpha \cos \alpha}{2 n D \pi \mu_{eff}(T) L} - \frac{h^4 \Delta P \sin^2 \alpha}{12 \pi^2 D^2 n^2 \mu_{eff}(T) L^2} \quad (9)$$

Отримана функціональна залежність (9) при фіксованих  $h$ ,  $n$ ,  $L$ ,  $\mu_{eff}$ . У діапазоні параметрів:  $D = 0,10-0,18$  м та  $\alpha = 15-35^\circ$  побудуємо поверхню відгуку  $K_{opt}(D, \alpha)$  та її контурну проекцію.

Побудована об'ємна поверхня (рис. 1) ефективності  $K_{opt} = f(D, \alpha)$  демонструє наявність локального максимуму в області середніх значень кута підйому витка та діаметра шнека. Це підтверджує нелінійний характер взаємодії продуктивності та енерговитрат [8]. Оптимальна зона відповідає балансу між осьовою складовою швидкості та інтенсивністю зсувних напружень у пристінному шарі. При малих значеннях  $\alpha$  домінує обертальний рух без достатнього осьового транспорту, а при великих значеннях  $\alpha$  зростає зворотний потік і втрати тиску. Також існує середнє значення, при якому  $\sin \alpha \cos \alpha$  досягає максимуму.

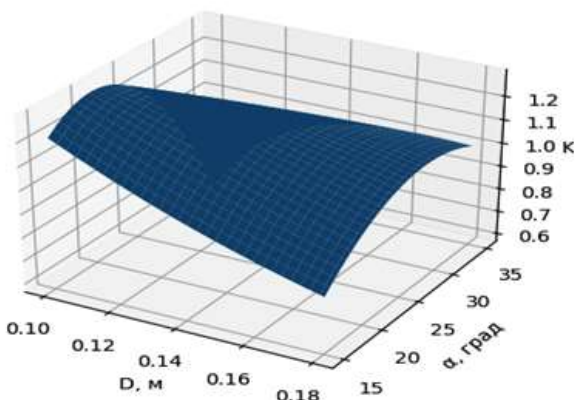


Рис. 1. Об'ємна поверхня відгуку  $K_{opt} = f(D, \alpha)$

Аналіз поверхні показав наявність вираженої області максимуму, що відповідає оптимальному співвідношенню між продуктивністю та втратами на тертя. Зі зростанням  $D$  збільшується площа транспортного каналу та підвищується осьова складова швидкості. Відповідно до цього зростають зсувні напруження через більшу периферійну швидкість. Отже утворюється нелінійний характер залежності  $K_{opt}(D)$ .

Максимум інтегрального критерію спостерігається в зоні:  $D = 0,13-0,15$  м та  $\alpha = 22-28^\circ$ . У цій області забезпечується стабільність потоку; мінімізується зворотний перетік; зменшуються питомі енерговитрати та знижується ризик локального перегрівання фаршу. Для фаршу групи В (вища в'язкість) зона максимуму зміщується у бік менших  $\alpha$ , зменшується допустимий діапазон  $D$ , але зростає чутливість до радіального зазору між гребенем шнека та корпусом  $\delta$ . Для фаршу групи А допустима ширша область параметрів з менш вираженим зростанням  $N_{frict}$  та стабільніша робота при підвищених обертах.

Отримана об'ємна характеристика забезпечує перехід від емпіричного підбору до аналітичного проектування, що дає змогу формалізувати область раціональних конструктивних параметрів з урахуванням продуктивності та енергоефективності. Такий підхід дозволяє встановити зміщення оптимуму залежно від реологічних властивостей фаршу та обґрунтувати конфігурацію експериментального шнека. На цій основі сформовано критерій мінімізації питомих енерговитрат, що є фундаментом для подальшого чисельного моделювання робочих органів.

Побудова тривимірної поверхні  $K_{opt}$  унаочнює наявність локального максимуму ефективності транспортування. Це дає можливість встановити, що раціональні параметри шнека зосереджені в зоні середніх значень кута підйому та діаметра, причому варіація в'язко-пружних показників сировини спричиняє зміну зони оптимуму. Запропонований метод гарантує зниження енергоємності процесу при збереженні заданої продуктивності нагнітача.

На рисунку 2 подано контурну карту інтегрального критерію ефективності

$K_{opt} = \frac{Q}{N_{frict}}$ , як функцію діаметра шнека  $D$  та кута підйому гвинтової лінії  $\alpha$ .

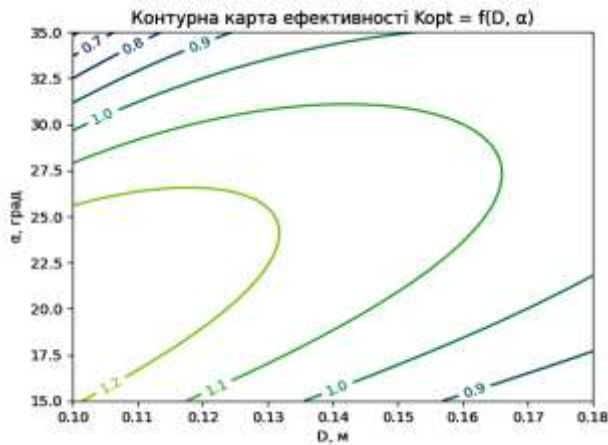


Рис. 2. Контурна карта інтегрального критерію ефективності  $K_{opt} = f(D, \alpha)$

Отримана карта (рис. 2) дозволяє візуально визначити області максимальної продуктивності при помірних енергетичних витратах (зона найбільших значень  $K_{opt}$ ) та енергетично неефективних режимів (низькі значення). Крім цього, далі можливо встановити компромісні області раціональної геометрії робочого органу. З графіка видно, що при малих кутах  $\alpha < 18^\circ$  ефективність знижується через зростання гідравлічного опору. При великих кутах  $\alpha > 32^\circ$  зменшується осьова складова транспортування і оптимальна зона лежить приблизно в області  $D = 0,12-0,14$  м,  $\alpha = 22-28^\circ$ . Саме ця область є перспективною для подальшої геометричної оптимізації шнека при транспортуванні в'язко-пластичного фаршу.

#### Висновки.

1. Встановлено, що ефективність транспортування м'ясного фаршу у шнекових системах визначається реологічними властивостями продукту та умовами в'язкісного тертя. Перевищення граничних напружень зсуву або температури понад  $40-45^\circ\text{C}$  призводить до механодеструкції структури, зниження в'язкості, втрати вологи та погіршення якості фаршу.

2. Доведено визначальний вплив геометричних параметрів шнека ( $D, \alpha, S, h, \delta$ ) на процес транспортування. Раціональний вибір зазору  $\delta$ , кута підйому  $\alpha$  та діаметра  $D$  забезпечує ламінарний режим течії, мінімізує зворотні перетоки, тепловиділення та енерговитрати, що особливо важливо для в'язко-пружних фаршів групи В.

3. Розроблено інтегральний критерій ефективності  $K_{opt}$  та математичну модель процесу, які дозволили визначити оптимальні параметри шнека ( $D = 0,13-0,15$  м;  $\alpha = 22-28^\circ$ ). Запропонований підхід забезпечує перехід до аналітичного проектування обладнання та підвищення енергоефективності при збереженні якості м'ясної сировини.

#### Список використаних джерел

1. Вороненко Б. О. Моделювання процесів переробки харчових мас у шнекових апаратах : монографія. Київ : Наукова думка, 2018. 245 с.
2. Cevik M., Icier F. Characterization of viscoelastic properties of minced beef meat thawed by ohmic and conventional methods. *Food Sci Technol Int.* 2020. 26 (4). P. 277–290. DOI: 10.1177/1082013219888300
3. Suchenko Y., Suchenko V., Mushtruk M., Vasylyv V., Boyko Y. Research into mechanical properties of minced meat and finished products. *Food Science and Technology.* 2017. № 4. P. 43–51. DOI: 10.21303/2504-5695.2017.00389
4. Jasim A., Hosahalli S. Dynamic rheology and thermal transitions in meat-based strained baby foods. *Journal of Food Engineering.* 2007. 78 (4). P. 1274–1284. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.12.035
5. Левіт І. Б., Сукманов В. О., Афенченко Д. С. Реологія харчових продуктів. Полтава: ПУЕТ. 2015. 540 с.
6. Гуць В.С., Полевода Ю.А., Симонік Б.В., Деформування в'язкопружних систем в харчових технологіях. *Вібрації в техніці та технологіях.* 2025. № 3 (118). С. 113–119. DOI: 10.37128/2306-8744-2025-3-13
7. Goots V., Solona O., Polievoda Y., Symonik B. Rheology in standardized food formation processes. *Вібрації в техніці та технологіях.* 2025. № 1 (116). С. 112–119. DOI: 10.37128/2306-8744-2025-1-15
8. Симонік Б., Полевода Ю. Оптимізація виробничих процесів у м'ясопереробці на основі математичних моделей. *Biota. Human. Technology.* 2025. № 3. С. 207–218. DOI: 10.58407/bht.3.25.19

#### References

1. Voronenko, B. O. 2018. Modeliuvannia protsesiv pererobky kharchovykh mas u shnekovykh aparatakh. Monografiia. Kyiv: Naukova dumka, 245 p. [in Ukrainian].
2. Cevik, M., Icier, F. 2020. Characterization of viscoelastic properties of minced beef meat thawed by ohmic and conventional methods. *Food Sci Technol Int.* 26 (4). P. 277–290. [in English].
3. Suchenko, Y., Suchenko, V., Mushtruk, M., Vasylyv, V., Boyko, Y. 2017. Research into mechanical properties of minced meat and finished products. *Food Science and Technology.* 4. P. 43–51. [in English].
4. Jasim, A., Hosahalli, S. 2007. Dynamic rheology and thermal transitions in meat-based strained baby foods. *Journal of Food Engineering.* 78 (4). P. 1274–1284. [in English].



5. Levit, I. B., Sukmanov, V. O., Afenchenko, D. S. 2015. Reolohiia kharchovykh produktiv. Poltava: PUET. 540 p. [in Ukrainian].

6. Huts, V. S., Polievoda, Y. A., Symonik, B. V., 2025. Deformuvannia viazkopruznykh system v kharchovykh tekhnolohiiakh. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. 3 (118). P. 113–119. [in Ukrainian].

7. Goots, V., Solona, O., Polievoda, Y., Symonik, B. 2025. Reolohiya u standardyzovanykh protsesakh formuvannya kharchovykh produktiv. *Vibrations in engineering and technology*. № 1 (116). P. 112–119. [in English].

8. Symonik, B., Polievoda, Y. 2025. Optyimizatsiia vyrobnychych protsesiv u miasopererobtsi na osnovi matematychnykh modelei. *Biota. Human. Technology*. 3. P. 207–218. [in Ukrainian].

#### **SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF SCREW FEEDERS FOR MINCED MEAT SYSTEMS BASED ON MODELING THE RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF MEAT RAW MATERIALS**

*The article examines the features of minced meat transportation in screw systems, taking into account its viscoelastic properties. It is shown that the process of product movement in the working chamber is determined by the ratio of viscous friction forces between the minced meat, the screw, and the casing walls. Unlike Newtonian fluids, minced meat is characterized by the presence of a yield shear stress and an elastic modulus, which creates a risk of structural mechanical destruction when critical shear rates are exceeded. This leads to a deterioration in product quality, in particular moisture loss and fat separation.*

*The influence of screw and working chamber geometry on the efficiency of minced meat transportation has been analyzed, particularly for group B raw materials, which exhibit increased viscosity and a complex structural organization. It has been established that key factors include the screw diameter, helix angle, channel depth, and the radial clearance between the screw and the casing. Excessive reduction of the clearance causes local overheating, while its increase leads to higher backflow and a loss of productivity.*

*An integral transportation efficiency criterion has been proposed, taking into account the ratio of productivity to the energy consumed to overcome viscous friction. A mathematical model of the process has been developed, based on the superposition of forward and backward flows and accounting for the temperature dependence of minced meat viscosity. It has been shown that energy dissipation leads to product heating, a decrease in viscosity, and a reduction in the overall process efficiency.*

*Based on the construction of a three-dimensional response surface, the rational values of the screw's geometric parameters were determined. It was established that the maximum efficiency is achieved at a diameter and helix angle that ensure a balance between productivity, energy consumption, and preservation of the minced meat structure. The proposed approach allows a transit from empirical selection to analytical design of screw systems, enhancing the efficiency of processes in the meat processing industry.*

**Keywords:** minced meat, screw; efficiency criterion; pumping, modeling, viscoelastic properties, rotation speed.

#### **Відомості про авторів**

**Polievoda Yurii** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Bioengineering, Bio- and Food Technologies Faculty of Production Technology, Processing and Robotics in Animal Husbandry of the Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna St., 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: [vinyura36@gmail.com](mailto:vinyura36@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2485-0611>).

**Symonik Bohdan** – recipient of a Doctor of Philosophy degree in specialty 181 Food Technologies of the Vinnytsia National Agrarian University.

**Полевода Юрій Алікович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій факультету технології виробництва, переробки та робототехніки у тваринництві Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: [vinyura36@gmail.com](mailto:vinyura36@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2485-0611>).

**Симонік Богдан Володимирович** – здобувач наукового ступеня доктора філософії спеціальності 181 Харчові технології Вінницького національного аграрного університету.

Стаття надійшла 20.02.2026

Стаття прийнята 04.03.2026

Опубліковано 17.04.2026