

## МОДЕЛЮВАННЯ ВІБРОУДАРНОГО МАСАЖУВАННЯ М'ЯСА

Досліджено механізм тендеризації м'ясних виробів, приведено математичні моделі руху шматка м'яса у вібромасажері. Аналітично показано шляхи зміни режимів масажування для оптимізації технологічного процесу виготовлення солоних (делікатесних) м'ясних продуктів.

**Ключові слова:** масажування м'яса, моделювання руху м'яса, вібромасажери, солоні (делікатесні) м'ясні продукти.

The vibromassagers have been used in order to make meat products with good quality characteristic. The mathematical models of a sample of meat motion in a vibromassager have been received. The possibility of the massaging parameters exchange (variability) that can significantly optimize the technological process of salted (delicacy) meat products manufacture has been shown.

**Keywords:** meat massaging; meat motion modeling; vibromassagers, salted (delicacy) meat products.

В технології м'яса якість кінцевого продукту в першу чергу залежить від технології, яка застосовується, сировини та технічного оснащення виробництва.

Значним попитом у населення користуються солоні (делікатесні) м'ясні вироби. Процес засолювання м'яса можна розглядати як фільтраційно-дифузійне насичення шматка розчином солі [1]. Сіль потрапляє у товщу м'яса дуже повільно, тому для прискорення процесу насичення внутрішніх шарів шматка в нього вводять за допомогою порожнистих голок з отворами розсіл і потім м'ясо періодично деформують, використовуючи різні фізичні методи.

Для отримання якісних м'ясних продуктів важливим є максимальне, рівномірне фільтраційне насичення шматка по всій його масі, витримка для подальшого дифузійного поширення засолених інгредієнтів і біохімічних перетворень. Ефективність фільтраційного насичення залежить від розмірів пор і капілярів та рушійної сили процесу — різниці тисків в зоні накопичення розсолу.

Найкращі умови для розповсюдження розчину солі в сучасних умовах виробництва досягають, використовуючи багатоголкове шприцювання і масажування м'яса — його циклічне деформування. При цьому змінюється внутрішня структура сировини, періодично розширюються та стискаються пори і капіляри, в них циклічно збільшується тиск рідини і тим самим інтенсифікується насичення м'яса розчином [2].

Оптимізувати процес масажування можливо шляхом механічного оброблення шматка ударом [3]. Сучасні конструкції барабанних масажерів в цьому плані мало ефективні. Працюють в режимі занадто великих інтервалів між деформуванням і вистоем.

Запропоновано інтенсифікувати механічне оброблення шматків м'яса шляхом механічного деформування на основі низькочастотного вібраційного впливу. В цьому випадку м'ясо повинно відриватись від вертикально-віброуючої поверхні масажера, підкидатися, зміщуватись, інтенсивно перемішуватись з посолочними інгредієнтами і при жорстких режимах масажування, падати, ударятися об тендеризуючу поверхню [4].

Метою роботи є визначення траєкторії руху шматка м'яса в процесі тендеризації віброударним способом.

Розглянемо механізм відокремлення шматка м'яса масою  $m$  від поверхні віброуючої пластини. Як правило, це металева пластина з нержавіючої сталі. Вона рухається періодично, змінюючи швидкість і напрямок. Для досягнення ефекту масажування необхідно, щоб при зупинці або зменшенні швидкості руху пластини до критичної величини, шматок, який до цього часу знаходився на її поверхні і рухався разом з нею, долаючи адгезію і деформуючи розтягуючи зусилля, почав відокремлюватись. В цьому випадку диференціальне рівняння руху шматка відносно пластини представляє рівняння:

$$m \left( \frac{d^2}{dt^2} y(t) \right) + mg + F_{ag} = 0, \quad (1)$$

де  $F_{ag} = F_{ad} S$ ,  $F_{ad}$  — міцність адгезії, Па;  $S$  — площа контакту шматка з пластиною,  $m^2$ ;  $m$  — маса шматка м'яса, кг;  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;  $y(t)$  — переміщення, м.

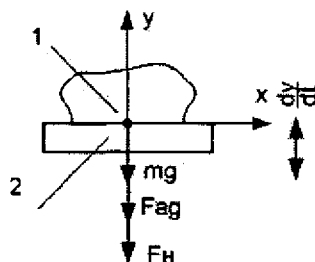


Рис. 1. Схема дії сил на шматок м'яса до його відокремлення від поверхні пластини (1 — шматок м'яса; 2 — пластина)

Запишемо розв'язок рівняння (1) в загальному вигляді

$$-y(t) = \frac{t^2}{2} \left( g + \frac{F_{ad} S}{m} \right) + c_1 t + c_2. \quad (2)$$

Враховавши початкові умови, коли  $t = 0 \Rightarrow \frac{dy}{dt} = 0$ ,  $y = 0$ , остаточно отримаємо

$$-y(t) = \frac{t^2}{2} \left( g + \frac{F_{ad} S}{m} \right). \quad (3)$$

З рівняння (3) знайдемо швидкість руху м'яса по відношенню до пластини

$$-\frac{dy}{dt} = \frac{mg + F_{ad} S}{m} \cdot t. \quad (4)$$

Вважаємо, що шматок при відриванні деформується і відрив має місце, коли  $y(t) > 0$ .

Для інженерних розрахунків приймаємо  $y(t) = \sqrt{s}$ . Для конкретних умов, які враховують: різні структурно-механічні властивості м'яса, міцність адгезії, швидкості деформування і відокремлення, реологічні властивості сировини та інші,  $y(t) = f(s)$  треба знаходити з експериментальних реодинамічних досліджень.

Для інтенсифікації масажування м'яса і на цій основі, розробці нових конструкцій масажерів необхідно, щоб після відривання від пластини шматок продовжував рухатись по заданій траєкторії до зустрічі з тендеризуючою поверхнею. Коли м'ясо знаходиться в масажері, рух його будемо розглядати такий, що складається з двох етапів: перший — від початку руху шматка за рахунок деформування (розтягування рівняння (1)), до його відокремлення від пластини; другий — від моменту відокремлення і подальшого самостійного руху (польоту) по відповідній траєкторії до падіння на тендеризуючу поверхню.

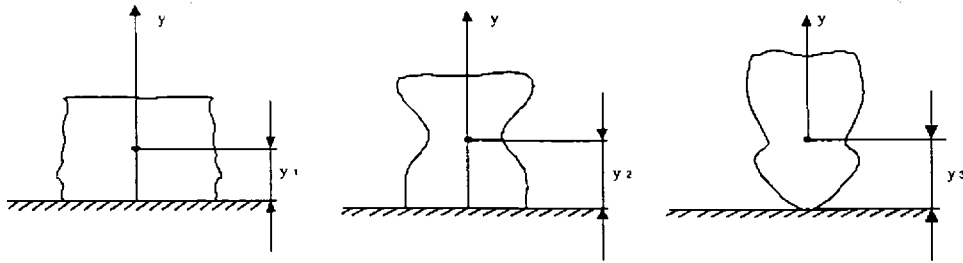


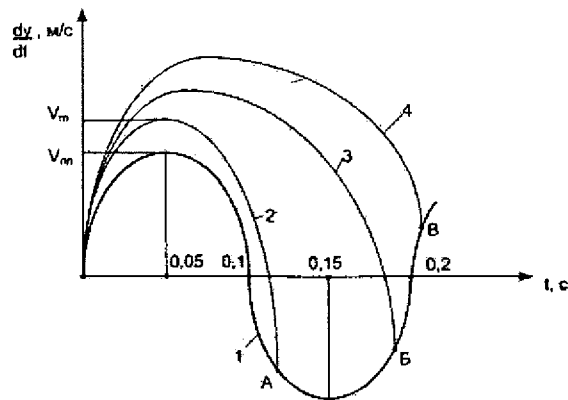
Рис. 2. Послідовність відокремлення продукту від пластини:  
 $y_1$  — розташування шматка на поверхні пластини;  
 $y_2$  — шматок починає відокремлюватись від пластини;  
 $y_3$  — шматок відокремлюється від пластини.

Для розрахунку режимів коливання пластини, які забезпечать задану траєкторію руху шматка м'яса, необхідно знати відносну швидкість  $\frac{dy}{dt}$  і швидкість руху пластини.

Розглянемо на прикладі рух м'яса в масажері.

Підставивши в рівняння (4) величину  $m$  — маси шматка  $m = 0,2$  кг;  $F_{ad}$  — міцності адгезії (для нержавіючої сталі  $F_{ad} = 16000$  Н/м<sup>2</sup>), знайдемо швидкість  $V(t)$  відривання.

Рис. 3. Коливальний рух пластини (крива 1) і можливі рухи шматка м'яса (криві 2, 3, 4).



На рис.3 показано графік коливального руху пластини з частотою  $\omega = 5\text{с}^{-1}$ . Для  $t = 0,05$  с вона дорівнює  $V(t) = 5,2$  м/с. Для надання шматку руху по заданій траєкторії необхідна більша швидкість, ніж швидкість руху пластини. В цьому випадку м'ясо зразу після відокремлення матиме швидкість:

$$V_m = V_{pl} + V_1$$

$V_{pl}$  — швидкість пластини;  $V_1$  — відносна швидкість.

Слід мати на увазі, що для різних частот і амплітуд коливання пластини буде різна її швидкість і ефективність масажування буде залежати від моменту зіткнення шматка з пластиною (точки А, Б, В).

Представлені вище рівняння не враховують залежність міцності адгезії  $F_{ad}$  від швидкості відривання. Для короткотривалого процесу, маємо лінійну залежність  $F_{ad} = F_1 + a \cdot \frac{d}{dt} \cdot y(t)$ , тоді диференціальне рівняння руху буде

$$m \left( \frac{d^2}{dt^2} y(t) \right) + m g + \left( F_1 + a \left( \frac{d}{dt} y(t) \right) \right) S = 0 \quad (5)$$

Його розв'язок при початкових умовах  $y(0) = 0 \Rightarrow \frac{dy}{dt} = 0, y(0) = 0$

$$y(t) = \frac{(mg + SF_1) \cdot m}{a^2 S^2} - \frac{m \cdot e^{\left(\frac{aS}{m}\right)} \cdot (mg + SF_1)}{a^2 S^2} - \frac{tmg}{aS} - \frac{tF_1}{a} \quad (6)$$

Виконавши диференціювання рівняння (6), знайдемо швидкість відривання шматка від пластини

$$\frac{d}{dt} y(t) = \frac{e^{\left(-\frac{aS}{m}\right)} m g + e^{\left(-\frac{aS}{m}\right)} S F_1 - m g - S F_1}{aS} \quad (7)$$

Аналогічно попередньому випадку, знайдемо швидкість відривання шматка. Вона дорівнює  $V(t) = 4,5$  м/с і різниця між першим і другим розрахунками складає 0,7 м/с, що складається 13 %. Звідки витікає, що рівняння (4) можна використовувати для виконання наближених розрахунків.

Порівнюючи зміщення і швидкості пластини і шматка м'яса, можна визначити енергетичні характеристики процесу масажування. Якщо при приземленні шматка після закінчення його польоту напрямки руху його і пластини співпадають, то маємо більш м'яке масажування, ніж для варіанту їх зустрічного руху. Врахувавши реологічні властивості і швидкість деформування, можна розрахувати режим руху пластини для безвідривного оброблення м'яса. Тобто проведення масажування кісткової сировини.

**Висновок.** Отримані математичні моделі дають змогу визначити режими масажування м'яса за його структурно-механічними властивостями та характеристиками руху вібруючої поверхні масажера.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Гуць В.С.* Оцінка ефективності механічного оброблення м'яса / Гуць В.С. // Наукові праці УДУХТ. – К., 1998. – №4. – С.47 – 49.
2. *Гуць В.С.* Сферична фільтрація при мокрому солінні м'яса / В.С. Гуць, О.А. Коваль / Харчова промисловість. – 2004. – №3. – С.84. – 88.
3. *Коваль О.А.* Распределение упругих волн деформаций в мясе / О.А. Коваль, В.С. Гуць / Пищевая технология. – 1990. – №2-3. – С.76 – 78.
4. *Лимонов Г.Е.* Вибрационная техника и технология в колбасном производстве / Лимонов Г.Е., Смирнова Л.В., Ступин В.Э. – М.: ЦНИИТЭИмясомолпром: (Сер. Мясная пром-сть), 1986. – 50 с.

Одержана редколегією 05.09.2011 р.

