

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ АДГЕЗІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

В роботі розглядається експериментально-аналітичний метод визначення міцності адгезії. В основу його покладено математичні моделі, які описують рух матеріальної системи. Метод досліджень враховує сили опору повітря і сили адгезії. Ймовірність результатів досліджень підтверджена експериментально. Визначена міцність адгезії м'яса.

Ключові слова: адгезія, моделювання міцності адгезії.

Розробку раціональних конструкцій технологічного обладнання, вибір оптимальних процесів і режимів переробки сировини для харчової промисловості можна забезпечити тільки в результаті глибокого вивчення виробничих процесів з урахуванням структурно-механічних властивостей перероблюваних харчових мас.

Більшість процесів харчових технологій пов'язані з переробкою неоднакових за своїми структурно-механічними властивостями дисперсних систем, що значно ускладнює їх моделювання і оптимізацію.

Продукти мають різні в'язко-пружно-пластичні й адгезійні властивості і потребують використання неоднакового за конструкцією технологічного обладнання різних режимів оброблення. Так, незначне збільшення швидкості формування харчової маси може призвести до значних енергетичних витрат, погіршення якості виробів. Проте без зростання швидкості оброблення неможливо збільшити продуктивність машини. Тому зв'язок у виробничій системі машина-сировина має бути добре вивчений для отримання позитивних результатів у розробці нових технологій.

Важливим фактором, що впливає на якість готових виробів і продуктивність машини, є адгезія, яка відбувається в процесі контакту харчових дисперсних систем з робочими органами технологічного обладнання.

© В.С. Гуць, О.А. Коваль, 2006

The experimental-analytical method of definition of durability of adhesion is offered. It is based on the mathematical models describing movement of material system.

The method of researches takes into account forces of resistance of air and force of adhesion. Reliability of results of researches is confirmed experimentally. Durability of adhesion of meat is determined.

Key words: adhesion, modeling of durability of adhesion

Залежно від умов цього контакту і стану контактуючих поверхонь може відбуватися взаємне притискання, відокремлення (відривання), ковзання або одночасне відокремлення і ковзання продукту по пластині, яка може бути виготовлена з різних матеріалів і мати різну шорсткість.

Продукт відокремлюється від робочого органу технологічного обладнання послідовно. Розглянемо нормальну до пластини дію сил (рис. 1), коли продукт швидко відокремлюється ($V_0 > 1$ м/с) з урахуванням адгезії і здатності до деформування, тобто його реологічних властивостей.

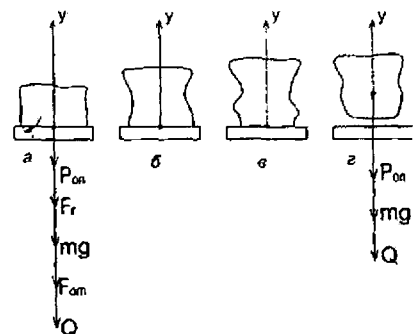


Рис. 1. Послідовність роз'єднання системи продукт-пластина і сили, які діють на продукт при його відокремленні від пластини

Побудуємо математичні моделі для реальних гарчових дисперсних систем з в'язко-пружно-пластичними властивостями. В процесі моделювання і аналізу будемо використовувати методи символічної комп'ютерної математики „Maple 10”.

У випадках *a, b, v* у зоні розділення на продукт будуть діяти сили:

F_{om} — сила пов'язана з адгезією; F_r — сила пов'язана з деформуванням (реологією) продукту; mg — сила тяжіння; P_{om} — сила опору повітря; Q — сила інерції Ньютона.

У випадку *g* діють тільки сила опору F_{om} повітря, яка пропорційна швидкості, сила Q інерції Ньютона, сила тяжіння mg .

Врахуємо, що $F_{om} = N_1 \text{massa}_1$; $F_r = A_2 e^{-\alpha t} \text{massa}_1$;

$$P_{om} = K_1 \frac{dy}{dt}; Q = \text{massa}_1 \frac{d^2 y}{dt^2},$$

де N_1 — коефіцієнт, що характеризує вплив адгезії, Н/кг; massa_1 — маса зразка, кг; K_1 — коефіцієнт опору повітря, Н·с/м; A_2 , Н/кг і α , с^{-1} — реологічні характеристики продукту.

Запишемо диференціальне рівняння руху

$$\text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} y(t) \right) = -A_2 e^{(-\alpha t)} \text{massa}_1 - K_1 \left(\frac{d}{dt} y(t) \right) - \text{massa}_1 g - N_1 \text{massa}_1. \quad (1)$$

Розв'яжемо рівняння (1) в загальному вигляді

`> eg1:=dsolve(sys1,y(t));`

$$\begin{aligned} \text{eg1} := y(t) = & - \left(-C1 K_1 \text{massa}_1 e^{\left(-\frac{K_1 t}{\text{massa}_1} \right)} + \right. \\ & \left. + C1 a \text{massa}_1^2 e^{\left(-\frac{K_1 t}{\text{massa}_1} \right)} - N_1 \text{massa}_1 K_1 t \right. \\ & \left. + \text{massa}_1^2 N_1 a t + \frac{A_2 K_1 \text{massa}_1 e^{(-\alpha t)}}{a} \right) / \\ & (-K_1 + a \text{massa}_1) + C2 \\ & - \text{massa}_1 g K_1 t + \text{massa}_1^2 g a t \Big/ (K_1 \end{aligned} \quad (2)$$

Постійні інтегрування знайдемо, записавши початкові умови

`> eg2:=dsolve({sys1,y(0)=0,D(y)(0)=V[0]},y(t)); (3)`

Враховавши (3), отримаємо кінцевий розв'язок рівняння (2).

$$\text{eg2} := y(t) = - \left(-(-V_0 K_1^2 + V_0 K_1 a \text{massa}_1 - N_1 \text{massa}_1 K_1 + \text{massa}_1^2 N_1 a \right.$$

$$\begin{aligned} & - A_2 K_1 \text{massa}_1 - \text{massa}_1 g K_1 + \text{massa}_1^2 g a) \cdot \\ & \text{massa}_1 e^{\left(-\frac{K_1 t}{\text{massa}_1} \right)} / (-K_1 + a \text{massa}_1) \\ & + (-V_0 K_1^2 + V_0 K_1 a \text{massa}_1 - N_1 \text{massa}_1 K_1 + \\ & + \text{massa}_1^2 N_1 a - A_2 K_1 \text{massa}_1 \\ & - \text{massa}_1 g K_1 + \text{massa}_1^2 g a) a \text{massa}_1^2 e^{\left(-\frac{K_1 t}{\text{massa}_1} \right)} / \\ & / (K_1 (-K_1 + a \text{massa}_1)) \\ & - N_1 \text{massa}_1 K_1 t + \text{massa}_1^2 N_1 a t + \\ & + \frac{A_2 K_1 \text{massa}_1 e^{(-\alpha t)}}{a} - \text{massa}_1 g K_1 t \\ & + \text{massa}_1^2 g a t \Big/ (K_1 (-K_1 + a \text{massa}_1)) \\ & + \frac{(N_1 a \text{massa}_1 + g a \text{massa}_1 + a V_0 K_1 - A_2 K_1) \text{massa}_1}{K_1^2 a}. \quad (4) \end{aligned}$$

Рівняння (4) можна спростити, записавши його у вигляді полінома третього степеня

`> eg3:=dsolve({sys1,y(0)=0,D(y)(0)=V[0]},y(t),type=series);`

$$\begin{aligned} \text{eg3} := y(t) = & V_0 t - \frac{1}{2} \frac{\text{massa}_1 A_2 +}{\text{massa}_1} \\ & + \frac{N_1 \text{massa}_1 + V_0 K_1 + \text{massa}_1 g}{\text{massa}_1} t^2 + \\ & \frac{1}{6} \frac{A_2 a \text{massa}_1^2 + K_1 A_2 \text{massa}_1 + N_1 \text{massa}_1 K_1 +}{\text{massa}_1^2} \\ & + \frac{V_0 K_1^2 + \text{massa}_1 g K_1}{\text{massa}_1^2} t^3 + O(t^4) \end{aligned} \quad (5)$$

З рівняння (4) або (5) можна знайти коефіцієнт N_1 . Для цього треба виміряти масу зразка (massa_1), знати величини коефіцієнтів K_1 , A_2 , показник стійкості α , відстань $y(t)$, на яку зрушиться продукт, і тривалість t відокремлення зразка.

Масу знаходимо зважуванням зразка з точністю до десятих часток грама, коефіцієнт K_1 за методикою, наведеною у роботі [1], коефіцієнт A_2 і показник системи α з досліджень реологічних властивостей за методикою, наведеною у роботі [2], відстань y і тривалість t — провівши зйомку процесу відокремлення зразка від пластини швидкісною кінокамерою.

Апаратне оформлення наведеної методики є складним, потребує високоточних вимірювань, що призводить до значного подорожчання установки.

Скористаємось значно простішою методикою непрямого визначення міцності адгезії на основі фізичного маятника [3].

Побудуємо систему диференціальних рівнянь. Вважаємо, що для швидкості відривання $V_0 > 1$ м/с реологічно складовою рівняння (1) можна знехтувати — продукт не встигне значно деформуватися. Розглянемо випадок, коли продукт відривається від пластини під кутом β (рис. 2).

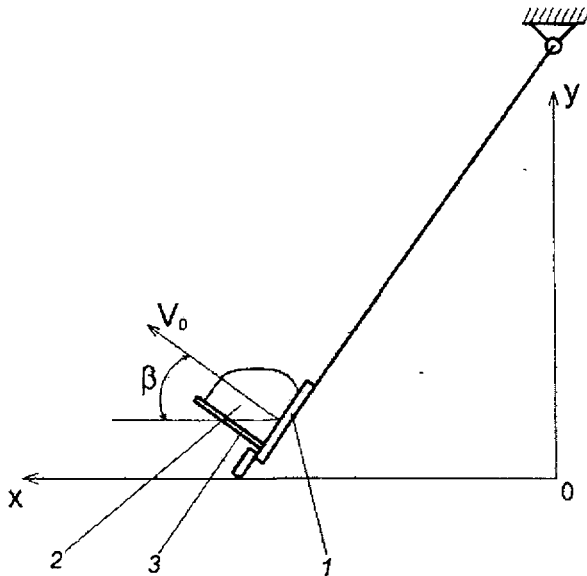


Рис. 2. Схема відривання продукту від пластини на маятниковій установці: 1 — пластина; 2 — продукт; 3 — антиадгезійна прокладка

Тоді диференціальні рівняння руху у проекціях на осі ox і oy будуть мати вигляд

$$\begin{aligned} > \text{sys1} := \text{massa}[1] * \text{diff}(x(t), t^2) = -N[1] * \text{massa}[1] * \cos(\beta) - \\ & K[1] * \text{diff}(x(t), t), \text{massa}[1] * \text{diff}(y(t), t^2) = - \\ & N[1] * \text{massa}[1] * \sin(\beta) - K[1] * (\text{diff}(y(t), t)) - \text{massa}[1] * g; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{sys1} &:= \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} x(t) \right) = \\ &= -N_1 \text{massa}_1 \cos(\beta) - K_1 \left(\frac{d}{dt} x(t) \right), \\ \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} y(t) \right) &= -N_1 \text{massa}_1 \sin(\beta) - \\ &- K_1 \left(\frac{d}{dt} y(t) \right) - \text{massa}_1 g. \end{aligned} \quad (6)$$

Запишемо параметри рівняння для проекцій швидкості V_0 на осі x і y :

$$\begin{aligned} > \text{Vox} &:= \text{Vo} * \cos(\beta); \text{Voy} := \text{Vo} * \sin(\beta); \\ \text{Vox} &:= \text{Vo} \cos(\beta) \\ \text{Voy} &:= \text{Vo} \sin(\beta) \end{aligned}$$

Отримаємо розв'язок рівняння (6) з урахуванням початкових умов $\text{eg1} := \text{dsolve}(\{\text{sys1}, x(0) = 0, D(x)(0) = \text{Vox}, y(0) =$

$$= 0, D(y)(0) = \text{Voy}\}, \{y(t), x(t)\});$$

$$\begin{aligned} \text{eg1} := & \left\{ y(t) = - \left(\frac{\text{massa}_1 e^{-\left(\frac{K_1 t}{\text{massa}_1}\right)} (N_1 \text{massa}_1 \sin(\beta) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \text{massa}_1 g + \text{Vo} \sin(\beta) K_1) \right)}{K_1} \right. \\ & \left. + \text{massa}_1 t N_1 \sin(\beta) + \text{massa}_1 t g \right. \\ & \left. - \frac{\text{massa}_1 (N_1 \text{massa}_1 \sin(\beta) + \text{massa}_1 g + \right. \\ & \left. + \text{Vo} \sin(\beta) K_1)}{K_1} \right) / K_1, x(t) = - \left(\right. \\ & \left. \frac{\text{massa}_1 e^{-\left(\frac{K_1 t}{\text{massa}_1}\right)} \cos(\beta) (\text{massa}_1 N_1 + \text{Vo} K_1)}{K_1} \right. \\ & \left. + \text{massa}_1 N_1 \cos(\beta) \right. \\ & \left. - \frac{\text{massa}_1 \cos(\beta) (\text{massa}_1 N_1 + \text{Vo} K_1)}{K_1} \right) / K_1 \end{aligned} \quad (7)$$

Оскільки значно простіше визначити параметри руху зразка на осі x [1], скористаємось рівнянням для $x(t)$ розв'язку (7)

$$\begin{aligned} > \text{eg11} := x(t) = & - \left(\frac{\text{massa}_1 e^{-\left(\frac{K_1 t}{\text{massa}_1}\right)} \cos(\beta)}{K_1} \right. \\ & \left. + \frac{(\text{massa}_1 N_1 + \text{Vo} K_1)}{K_1} + \text{massa}_1 N_1 \cos(\beta) t \right. \\ & \left. - \frac{\text{massa}_1 \cos(\beta) (\text{massa}_1 N_1 + \text{Vo} K_1)}{K_1} \right) / K_1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{eg11} := x(t) = & - \left(\frac{\text{massa}_1 e^{-\left(\frac{K_1 t}{\text{massa}_1}\right)} \cos(\beta)}{K_1} \right. \\ & \left. + \frac{(\text{massa}_1 N_1 + \text{Vo} K_1)}{K_1} + \text{massa}_1 N_1 \cos(\beta) t \right. \\ & \left. - \frac{\text{massa}_1 \cos(\beta) (\text{massa}_1 N_1 + \text{Vo} K_1)}{K_1} \right) / K_1. \end{aligned} \quad (8)$$

З рівняння (8) дістанемо N_1 :

$$N := \frac{K_1 \left(x(t) K_1 + \text{massa}_1 \cos(\beta) e^{-\left(\frac{K_1 t}{\text{massa}_1}\right)} V_0 - \text{massa}_1 \cos(\beta) \left(\text{massa}_1 e^{-\left(\frac{K_1 t}{\text{massa}_1}\right)} - \text{massa}_1 \cos(\beta) V_0 \right) - \text{massa}_1 + K_1 t \right)}{\dots} \quad (9)$$

Якщо підставити в останнє рівняння експериментальні дані, можна знайти значення коефіцієнта N_1 . Слід мати на увазі, що для відомих кута β , маси зразка „ massa_1 ”, коефіцієнта K_1 існує жорсткий зв'язок між відстанню x і тривалістю t . Його попередньо можна визначити, скориставшись методикою [1].

Визначимо коефіцієнт N_1 експериментально-аналітичним методом без вимірювання тривалості польоту t .

Запишемо систему диференціальних рівнянь, які характеризують рух досліджуваного зразка з різними коефіцієнтами опору N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 .

> sys1:=massa[1]*diff(x(t),t\$2)=-K[1]*diff(x(t),t)-N[1]*cos(beta)*massa[1],massa[1]*diff(y(t),t\$2)=-K[1]*(diff(y(t),t))-N[1]*sin(beta)*massa[1]-massa[1]*g;

$$\begin{aligned} \text{sys1} &:= \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} x(t) \right) = \\ &= -K_1 \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) - N_1 \cos(\beta) \text{massa}_1, \\ \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} y(t) \right) &= -K_1 \left(\frac{d}{dt} y(t) \right) - \\ &- N_1 \sin(\beta) \text{massa}_1 - \text{massa}_1 g \end{aligned} \quad (10)$$

> sys2:=massa[1]*diff(x(t),t\$2)=-K[1]*diff(x(t),t)-N[2]*cos(beta)*massa[1],massa[1]*diff(y(t),t\$2)=-K[1]*(diff(y(t),t))-N[2]*sin(beta)*massa[1]-massa[1]*g;

$$\begin{aligned} \text{sys2} &:= \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} x(t) \right) = \\ &= -K_1 \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) - N_2 \cos(\beta) \text{massa}_1, \\ \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} y(t) \right) &= -K_1 \left(\frac{d}{dt} y(t) \right) - \\ &- N_2 \sin(\beta) \text{massa}_1 - \text{massa}_1 g \end{aligned} \quad (11)$$

> sys3:=massa[1]*diff(x(t),t\$2)=-K[1]*diff(x(t),t)-N[3]*cos(beta)*massa[1],massa[1]*diff(y(t),t\$2)=-K[1]*(diff(y(t),t))-N[3]*sin(beta)*massa[1]-massa[1]*g;

$$\text{sys3} := \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} x(t) \right) =$$

$$\begin{aligned} &= -K_1 \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) - N_3 \cos(\beta) \text{massa}_1, \\ \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} y(t) \right) &= -K_1 \left(\frac{d}{dt} y(t) \right) - \\ &- N_3 \sin(\beta) \text{massa}_1 - \text{massa}_1 g \end{aligned} \quad (12)$$

> sys4:=massa[1]*diff(x(t),t\$2)=-K[1]*diff(x(t),t)-N[4]*cos(beta)*massa[1],massa[1]*diff(y(t),t\$2)=-K[1]*(diff(y(t),t))-N[4]*sin(beta)*massa[1]-massa[1]*g;

$$\begin{aligned} \text{sys4} &:= \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} x(t) \right) = \\ &= -K_1 \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) - N_4 \cos(\beta) \text{massa}_1, \\ \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} y(t) \right) &= -K_1 \left(\frac{d}{dt} y(t) \right) - \\ &- N_4 \sin(\beta) \text{massa}_1 - \text{massa}_1 g \end{aligned} \quad (13)$$

> sys5:=massa[1]*diff(x(t),t\$2)=-K[1]*diff(x(t),t)-N[5]*cos(beta)*massa[1],massa[1]*diff(y(t),t\$2)=-K[1]*(diff(y(t),t))-N[5]*sin(beta)*massa[1]-massa[1]*g;

$$\begin{aligned} \text{sys5} &:= \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} x(t) \right) = \\ &= -K_1 \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) - N_5 \cos(\beta) \text{massa}_1, \\ \text{massa}_1 \left(\frac{d^2}{dt^2} y(t) \right) &= -K_1 \left(\frac{d}{dt} y(t) \right) - \\ &- N_5 \sin(\beta) \text{massa}_1 - \text{massa}_1 g \end{aligned} \quad (14)$$

Величини коефіцієнтів N_1, \dots, N_5 вибираємо з таких умов.

Для відомого досліджуваного продукту або його аналога — продукту, близького за адгезійними властивостями, з літературних джерел знаходимо міцність адгезії F_{ot} і її функціональний зв'язок зі швидкістю V_0 відокремлення зразка [4].

Далі будуємо графік залежності $F_{ot} = f(V_0)$ і отримаємо рівняння апроксимації у вигляді логарифмічної залежності

$$F_{ot} = b_1 \ln(V_0) + b_2, \quad (15)$$

де b_1 і b_2 — експериментальні коефіцієнти.

Можна скористатися і аналогічними рівнянню (15) залежностями, які є у літературних джерелах для різних харчових продуктів.

З останнього рівняння або графіка інтерполяцією знаходимо приблизні значення F_{ot} для досліджуваних швидкостей відривання зразка $V_0 > 1$. Слід мати на увазі, що ці значення є приблизними і у подальшому повинні бути підтверджені експериментально.

Простим перерахунком, маючи на увазі, що

$$F_{ot} = \frac{F_{om}}{S} = \frac{N_1 \cos(\beta) \text{massa}_1}{S}, \quad (16)$$

де S — площа контакту, м^2 , з рівняння (16) знаходимо N_1 .

Наприклад, для умов проведення експериментальних досліджень, коли $V_0 = 6; \text{massa}[1] = 0.03; N[1] = 0; N[2] = 10; N[3] = 15; N[4] = 20; N[5] = 25; \beta = \pi/15; g = 9.8; K[1] = 0.05;$

отримаємо розв'язок рівнянь $\text{sys1} \dots \text{sys5}$ у чисельному вигляді $\text{eg1} = \text{dsolve}(\{\text{sys1}, x(0) = 0, D(x)(0) = V_0, y(0) = 0, D(y)(0) = V_0\}, \{y(t), x(t)\}, \text{type} = \text{numeric}, \text{output} = \text{listprocedure});$
 $\text{eg2} = \text{dsolve}(\{\text{sys2}, x(0) = 0, D(x)(0) = V_0, y(0) = 0, D(y)(0) = V_0\}, \{y(t), x(t)\}, \text{type} = \text{numeric}, \text{output} = \text{listprocedure});$
 $\text{eg3} = \text{dsolve}(\{\text{sys3}, x(0) = 0, D(x)(0) = V_0, y(0) = 0, D(y)(0) = V_0\}, \{y(t), x(t)\}, \text{type} = \text{numeric}, \text{output} = \text{listprocedure});$
 $\text{eg4} = \text{dsolve}(\{\text{sys4}, x(0) = 0, D(x)(0) = V_0, y(0) = 0, D(y)(0) = V_0\}, \{y(t), x(t)\}, \text{type} = \text{numeric}, \text{output} = \text{listprocedure});$
 $\text{eg5} = \text{dsolve}(\{\text{sys5}, x(0) = 0, D(x)(0) = V_0, y(0) = 0, D(y)(0) = V_0\}, \{y(t), x(t)\}, \text{type} = \text{numeric}, \text{output} = \text{listprocedure});$

Побудуємо графік (рис. 3) траєкторій руху продукту після його відокремлення від пластини, яка миттєво зупинялась.

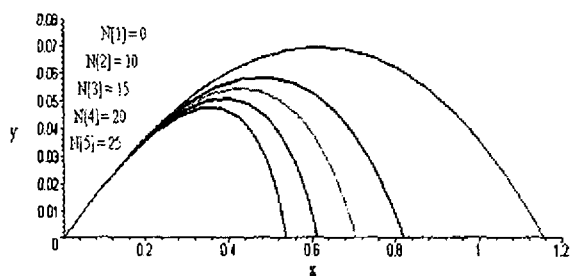


Рис. 3. Траєкторії руху зразка продукту за різних коефіцієнтів N

Знайдемо функціональний зв'язок $N(x)$ у вигляді рівняння апроксимації функції.

З рис. 3 маємо

N	0	10	15	20	25
x	1,16	0,82	0,7	0,62	0,54

Тоді

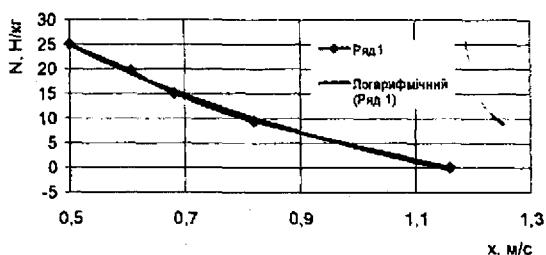


Рис. 4. Функціональний зв'язок між коефіцієнтом N і відстанню x

Рівняння апроксимації функції $N(x)$ отримане за допомогою програми Excel буде мати вигляд:

$$N = -32,596 \ln(x) + 4,215. \quad (17)$$

Його будемо використовувати у подальших розрахунках.

Провівши експериментальні дослідження з м'ясом (яловичина нежирна), отримали $x = 0,6$ м, знайдемо з графіка $N(x)$ (рис. 4) або з рівняння (17) величину коефіцієнта $N = 19,5$. Підставивши $N = 19,5$ у рівняння (16), отримаємо силу адгезії $F_{ад}$.

Поділивши її на площу S контакту продукту з пластиною, знайдемо міцність адгезії

$$F_{ад} = 1,2 \text{ кПа.}$$

За наведеною методикою було досліджено вплив тривалості t соління м'яса на міцність адгезії м'яса $F_{ад}$. На рис. 5 показано, як змінюється $F_{ад}$ за чотири доби соління при температурі 2°C .

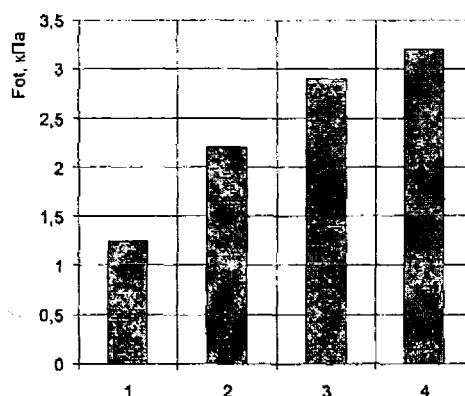


Рис. 5. Міцність адгезії $F_{ад}$ при тривалості t соління м'яса

Аналіз отриманої залежності свідчить, що міцність адгезії $F_{ад}$ змінюється нерівномірно. На початку процесу соління вона зростає швидше, ніж у кінці. Знаючи значення $F_{ад}$, яке відповідає оптимальним технологічним вимогам визрівання м'яса, процес соління можна контролювати і впливати на якість готових виробів.

Висновки. Запропонований експериментальний метод визначення адгезії харчових продуктів дає можливість контролювати хід технологічних процесів перероблення м'ясної сировини, визначити якісні показники готових виробів, що особливо важливо, коли органолептична оцінка неможлива.

Математичні моделі, отримані з використанням сучасних методів символічної і комп'ютерної математики, дають уявлення про механізми взаємодії продукту з робочими органами технологічного обладнання, розширюють перспективи проектування нових машин, збільшення їх продуктивності шляхом визначення оптимальних режимів руху робочих органів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гуць В.С., Коваль О.А. Визначення міцності адгезії: Матеріали ІХ міжнар. наук.-техн. конф. „Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості.” — К.: НУХТ, 2005. — С. 122.
2. Гуць В.С. Прикладна реологія та інтенсифікація процесів харчових виробництв: Автореф. дис.... д-ра техн. наук: 05.18.12. — Ж., 1999. — 35 с.
3. Гуць В.С., Коваль О.А. Дослідження міцності адгезії харчових продуктів // Упаковка. — 2006. — № 3.
4. Зимон А.Д. Адгезия пищевых масс. — М.: Агропромиздат, 1985. — 272 с.

Надійшла до редколегії 22.02.06 р.