

**Міністерство аграрної політики та
продовольства України
Міністерство освіти і науки України
Національний університет харчових технологій**

**«Ресурсо- та енергоощадні технології
виробництва і пакування харчової
продукції – основні засади її
конкурентоздатності»**

Матеріали III Міжнародної спеціалізованої
науково-практичної конференції

9 вересня 2014 р.
м. Київ, Україна

Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності: Матеріали III Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції. 9 вересня 2014 р., м. Київ. – К. НУХТ, 2014. – 161с.

У матеріалах конференції наведено доповіді за такими напрямками: стан та шляхи ресурсо- й енергозаощадження на підприємствах харчової промисловості; інноваційні та ресурсоощадні технології продуктів харчування; використання нетрадиційної сировини в технологіях продуктів харчування; інноваційні технології пакування харчових продуктів; енергоощадні та ресурсозберігаючі технології виготовлення тари та упаковки; інноваційні складові створення пакувального обладнання; енергоменеджмент на підприємствах харчової промисловості; шляхи підвищення ефективності виробничої логістики на підприємствах харчової промисловості.

На основі науково- дослідних робіт запропоновано шляхи вирішення прикладних задач нагальної проблеми в харчовій промисловості – ресурсо- та енергозаощадження.

Матеріали конференції будуть корисні науковим та інженерно-технічним працівникам, виробничникам, потенційним інвесторам, студентам ВНЗ та всім хто пов'язаний з харчовою та пакувальною індустрією.

ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ МЕМБРАН КРИШОК КОНСЕРВНОЇ СКЛЯНОЇ ТАРИ

У консервній промисловості дуже поширеним є такий засіб підтвердження гарантії початкового відкриття упаковки та герметичності системи закупорювання як “контрольна кнопка” на металевих кришках, яка являє собою пружну мембрану, розташовану в центрі поля кришки. Належне функціонування таких мембран пов’язане з правильним вибором і чітким дотриманням їх геометричних параметрів, товщини та властивостей жерсті для виготовлення кришок. Саме товщина матеріалу є одним з визначальних чинників ресурсозбереження.

Більшість кришок з мембранами на ринок України постачається закордонними виробниками, які мають солідний досвід їх виробництва. Вітчизняні виробники кришок типу III, намагаючись задовольнити потреби ринку, також розпочали або будуть вимушені розпочати виробництво кришок з мембранами. Однак наявність мембрани ускладнює виробництво кришок через незначний досвід такого виробництва або його відсутність.

Робота безпосередньо гнучких мембран кришок консервної тари значною мірою не досліджена, немає достатнього теоретичного обґрунтування їх роботи.

Мета даної роботи полягає у створенні математичної моделі для моделювання роботи мембран кришок консервної тари в залежності від зміни перепаду тиску, геометричних параметрів та товщини жерсті.

Гнучкі мембрани на металевих і комбінованих кришках застосовуються практично на всіх сучасних системах закупорювання консервної скляної тари. Зокрема таких як Twist-Off (ТО, український аналог - тип III), Press-on Twist-off (PT), Ideal Closure, Preson, Band-Guard, Continuous Thread.

Кришки системи ТО стосовно конструкції поля виготовляються у двох модифікаціях з “кнопкою” та без “кнопки”, відповідно до замовлення. Надалі “кнопку” називатимемо мембраною.

На рис. (слайд 1) зображено конструкцію поля кришки з мембраною та без неї. Робочою частиною мембрани є пласка кругова ділянка діаметром D_1 , та кільцева конічна ділянка з малим кутом нахилу твірної діаметром D_2 . Робоча частина є найбільш чутливою до перепаду тиску і зазнає найбільших деформацій. Зовні від робочої частини розташована інша кільцева конічна ділянка з більшим кутом нахилу твірної діаметром D_3 , яка в процесі роботи мембрани є менш активною і менш чутливою, тобто менше змінює свою форму і служить головним чином опорою для робочої частини.

Виходячи з виконуваних функцій ділянку між діаметрами D_1 і D_2 називатимемо робочим конусом, а конус з діаметром основи D_3 - опорним.

У ненавантаженому стані (рис. 1,а) мембрана є опуклою. Після закупорювання продукції, під дією вакууму в тарі, на поле кришки починає діяти рівнодійна зусилля від різниці тисків зовнішнього і всередині тари. Під дією певного зусилля, рівномірно розподіленого по зовнішній поверхні мембрани у вигляді тиску P , робоча частина мембрани

здатна втрачати стійкість (рис. 1,в). Завдяки малій товщині та високій границі пружності жерсті мембрана зберігає пружні властивості і за границями критичних зусиль.

Подамо роботу мембрани у графічному вигляді як залежність між тиском P та прогином центру мембрани f (рис. 2). При деякому критичному тиску P_1 відбувається стрибкоподібний перехід на іншу гілку залежності $P(f)$. В цей момент спрацьовує більш чутлива робоча частина мембрани. Практично це означатиме, що в тарі утворився належний вакуум і вона герметична. Подальше зростання тиску супроводжується ростом деформацій, який відбувається за деяким новим законом, відмінним від початкового. На цьому етапі поряд з робочою частиною починає деформуватися опорний конус.

При розвантаженні мембрани, повернення на початкову гілку відбувається знову стрибкоподібно, але при деякому новому критичному тиску розвантаження P_2 , меншому за перший. Практично це означатиме, що тара негерметична. Повернення мембрани у початковий стан повинно супроводжуватись характерним звуковим сигналом - клацанням, яке при відкритті тари, поряд з увігнутим станом мембрани до відкриття, доводить споживачеві, що упаковка герметична і відкривається вперше. Звуковий сигнал з'являється завдяки миттєвому відновленню початкової форми робочої частини мембрани. Для системи закупорювання ТО фірмою Silgan White Cap незалежно від типорозміру затвору надаються такі величини критичних тисків $P_1=0,03 \text{ МПа}$ і $P_2=0,005 \text{ МПа}$.

Отже мембрана працює за принципом контрольованої втрати стійкості з наступним відновлення початкової форми, яке супроводжується звуковим сигналом. Відповідно мембрана може перебувати у двох станах рівноваги. Перший відповідає опуклому стану, коли навантаження знаходиться в межах від 0 до P_2 . Другий відповідає стану втрати стійкості, коли навантаження в межах критичних значень від P_1 і більше до P_2 .

Дамо наближений розрахунок роботи мембрани для симетричного навантаження, яке

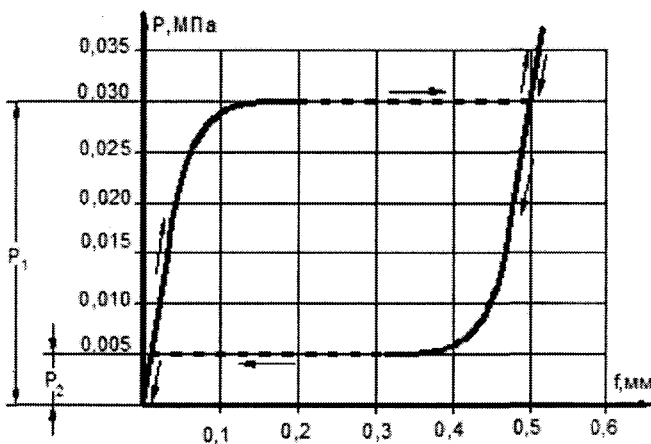


Рис.2. Залежність між тиском P та прогином центру мембрани f .

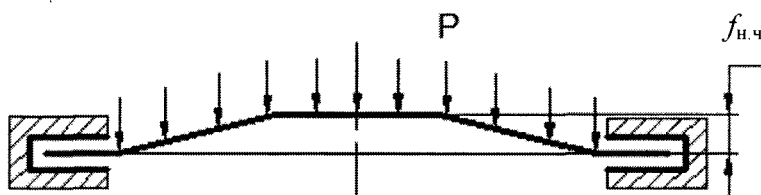


Рис.3. Схема закріплення мембрани.

має місце в даному випадку, використовуючи математичний апарат з теорії гнучких пластин та оболонок та теорії пружності. Обмежимося описом найбільш важливої, з огляду виконуваних функцій, робочої частини мембрани. Мембрана разом з полем є суцільною круглою тонколистовою пластинкою однакової товщини.

Дотримуватимемось розрахункової схеми в якій робочий конус защемлений по контуру, з вільним радіальним зміщенням точок контуру (рис. 3).

У випадку пружної деформації поля, наближені вирази для початкових та додаткових прогинів виберемо однаковими у вигляді, який відповідає

розв'язанню аналогічної задачі у випадку пластини малого прогину [5, стр. 444], відповідно

$$\omega_{nc} = f_{nc} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)^2, \quad \omega = f \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)^2, \quad (1)$$

де r – деякий радіус, що відповідає прогинам ω_{nc} та ω ; f_{nc} , f – початковий та додатковий прогини центра мембрани; R – радіус контуру мембрани.

Основна система диференціальних рівнянь для мембрани кришки, як круглої гнучкої пластини з початковим прогином, згідно теорії гнучких пластин та оболонок [1, формули (4.35), (4.36)], запишеться у вигляді

$$D \frac{d}{dr} (\nabla^2 \omega) = \psi + \frac{\delta}{r} \frac{d\Phi}{dr} \left(\frac{d\omega}{dr} + \frac{d\omega_{nc}}{dr} \right), \quad (2)$$

$$\frac{d}{dr} (\nabla^2 \Phi) = -\frac{E}{r} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{d\omega}{dr} \right)^2 + \frac{d\omega_{nc}}{dr} \frac{d\omega}{dr} \right], \quad (3)$$

де $D = \frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)}$ – циліндрична жорсткість мембрани [1, формула (1.45)];

$\nabla^2 (*) = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} (*) \right)$ – оператор Лапласа в полярній системі координат (при величині (*), що не залежить від полярного кута ϕ); ψ – функція навантаження; Φ – функція напруження; E – модуль нормальної пружності матеріалу мембрани; δ – товщина мембрани; μ – коефіцієнт Пуассона матеріалу мембрани.

Після розв'язання системи рівнянь з підстановкою (1) та враховуючи напрямки навантаження відносно початкового прогину, отримуємо

$$\frac{8}{3} Df - \frac{PR^4}{24} + \frac{1}{28} E\delta (f^3 - 3f^2 f_{nc} + 2f_{nc}^2 f) = 0. \quad (4)$$

Висновок. Рівняння (11) може бути прийнято за базову математичну модель для комп'ютерного моделювання роботи мембран кришок консервної тари в залежності від зміни тиску, геометричних параметрів та товщини жерсті. В подальшому планується на базі рівняння (11) створити комп'ютерну програму графічного аналізу роботи різних мембран для обґрунтування вибору їх геометричних параметрів та необхідних характеристик жерсті.

Література

1. Вплив механічних властивостей жерсті на міцність гвинтових кришок для скляної тари / О. В. Ватренко // Упаковка : журнал для виробників та споживачів тари і упаковки. - 2011. - N 1. - С. 27-29