

Мембрани кришок консервної скляної тари (обґрунтування їх роботи)

О.В. Ватренко, д.т.н., Одеська національна академія харчових технологій

Вимоги ринку і тенденції розвитку сучасної харчової промисловості тісно пов'язані з ресурсозбереженням та зменшенням матеріалоемкості упаковки. Однак, поряд із цим реалією сучасного ринку породжують проблему підвищення захисних властивостей упаковки. Нерідко зазначені тенденції і проблеми цілком або частково суперечать одна одній.

Для підтвердження гарантії початкового відкриття упаковки, яка передбачає повторне закриття тари, та герметичності системи закупорювання скляної тари використовуються різні гарантійні засоби. У консервній промисловості вельми поширеним є такий засіб як «контрольна кнопка» на металевих кришках, яка є пружною мембраною, розташованою в центрі поля кришки. Належне функціонування таких мембран пов'язане з правильним вибором і чітким дотриманням їхніх геометричних параметрів, товщини та властивостей жерсті для виготовлення кришок. Саме товщина матеріалу є одним із визначальних чинників ресурсозбереження.

Більшість кришок з мембранами на ринок України постачають закордонні виробники, які мають значний досвід їхнього виробництва. Вітчизняні виробники кришок типу III, намагаючись задовольнити потреби ринку, також розпочали або змушені будуть розпочати виробництво кришок з мембранами. Однак, наявність мембрани ускладнює виробництво кришок через незначний досвід такого виробництва або його відсутність. Загалом цей напрямок досліджень пов'язаний з удосконаленням технологій пакування, що забезпечують тривалий термін зберігання високої біологічної цінності продуктів харчування. Хоча слід зазначити, що конструкція гнучкої мембрани може бути використана, наприклад, як безконтактний датчик вакууму у різних галузях промисловості.

Питання розрахунку гнучких металевих пластинок розглядаються в теорії пружності. Зокрема, описано роботу круглих гнучких пластинок з початковим прогином, закріплених у різний спосіб, за різних, відносно прогину, напрямків дії навантаження [1]. Для використання у виробництві консервів кришок різних типів були проведені дослідження стійкості їхнього поля. Так, здійснено аналітичне та експериментальне дослідження стійкості поля

кришок типу I з жерсті зменшеної товщини [2]. Проведено аналітичне дослідження стійкості поля кришок типу III, отримані дані якого можна використовувати для розрахунку поля кришок на втрату стійкості під час стерилізації продукції [3]. Також розглянуто питання стійкості поля кришок типу III-82, пов'язане зі зменшенням товщини жерсті. Розраховано критичний тиск на поле для різної товщини та твердості жерсті. Перевірено стійкість кришок для найбільш несприятливих випадків у процесі стерилізації консервів [4].

Зазначені дослідження стосуються роботи у різний спосіб закріплених гнучких пластин загалом, або полів кришок різних затворів скляної тари, що в плані конструкції є майже ідентичним. Проте, конструкція поля кришок з «контрольною кнопкою» має певні особливості, адже поле кришки на горловині тари розглядається як гнучка пластина або мембрана, закріплена залежно від типу затвору, а «кнопка» є мембраною, закріпленою безпосередньо на мембрані, тобто додатковою мембраною. В дослідженнях, проведених автором раніше [3, 4], поле кришки типу III розглядалося у варіанті без «контрольної кнопки», або її наявністю нехтували. Конструкція кришок типу I є застарілою і взагалі не передбачає наявності додаткової мембрани. Робота безпосередньо гнучких мембран кришок консервної тари значною мірою не досліджена, не має достатнього теоретичного обґрунтування. А тому мета досліджень полягає у створенні математичної моделі роботи мембран кришок консервної тари залежно від зміни перепаду тиску, геометричних параметрів та товщини жерсті.

Гнучкі мембрани на металевих і комбінованих кришках застосовуються майже 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 виготовляють у двох модифікаціях: з «кнопкою» та без «кнопки», відповідно до замовлення. Надалі «кнопку» називатимемо мембраною.



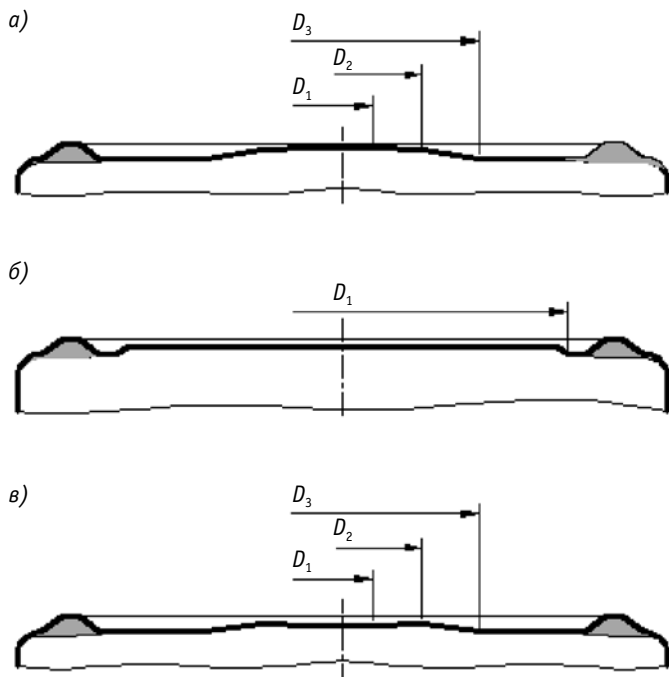


Рис. 1. Поле кришки типу III: з мембраною (а); без мембрани (б); з мембраною у втягнутому стані (в)

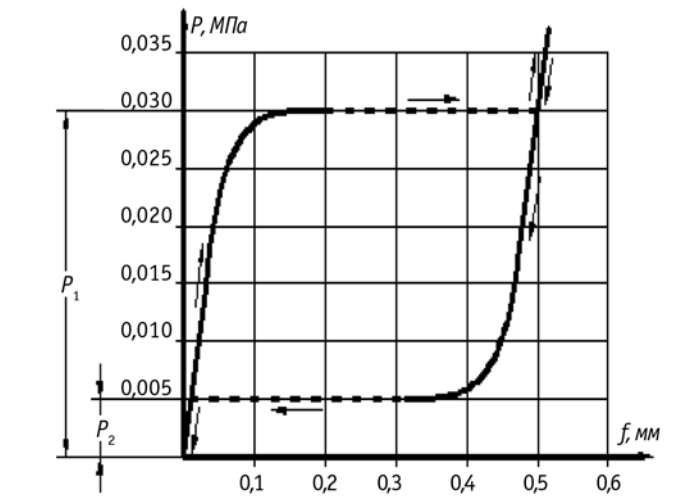


Рис. 2. Залежність між тиском P та прогином центру мембрани f

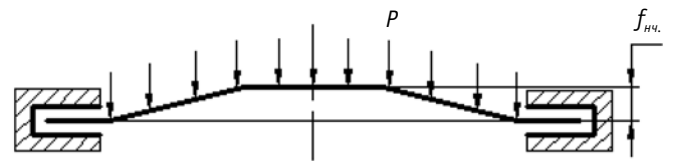


Рис. 3. Схема закріплення мембрани

Розглянемо конструкцію поля кришки з мембраною та без неї. Для відповідності розмірів і пропорцій розглянемо кришки однакового типорозміру, наприклад III-82, (рис. 1). Як видно на полі кришки з мембраною, від каналу для прокладки до центру поля розташована пласка ділянка, на якій в центрі поля знаходиться мембрана (рис. 1а). 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 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.

На полі кришки без мембрани (рис. 1б) фактично також є опорний конус, але діаметр його основи D_1 значно більший ніж у поля з мембраною, а пласка ділянка між каналом для прокладки і ним — вузька. Від початку така конструкція поля була пов'язана з наданням жорсткості пласкій ділянці поля, адже в процесі зберігання продукції ємкість, як правило, знаходиться під вакуумом.

У випадках, коли продукт закупорюють без створення вакууму або вручну, використовують гарантійний засіб у вигляді паперових смужок, які проходять через затвор, тобто наклеюють на кришку та корпус банки, а зверху на смужку наклеюють корпусну етикетку. Розглянемо роботу

мембрани. У ненавантаженому стані (рис. 1а) мембрана є опуклою. Після закупорювання продукції, під дією вакууму в тарі, на поле кришки починає діяти зусилля від різниці тисків навколишнього середовища та всередині тари. Під дією рівномірно розподіленого по зовнішній поверхні мембрани тиску P , робоча частина мембрани здатна втратити стійкість (рис. 1в). Завдяки малій товщині та високій границі пружності жерстї 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 дещо 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 дещо новому критичному тиску розвантаження P_2 , меншому за перший. Це означатиме, що тара негерметична. Повернення мембрани у початковий стан має супроводжуватися 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, а його гучність залежить від швидкості відновлення форми.



В теорії пластин і оболонок та приладобудуванні такі мембрани відомі як мембрани, що лясають [1]. 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 відновленням 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 — 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 має місце в цьому випадку, використовуючи математичний апарат з теорії гнучких пластин і оболонок та теорії пружності. У першому наближенні обмежимося описом найбільш важливої, з огляду виконуваних функцій, робочої частини мембрани. Мембрана разом з полем є суцільною круглою тонколистовою пластинкою однакової товщини. Будемо дотримуватися розрахункової схеми, в якій робочий конус зашцеПЛений по контуру з вільним радіальним зміщенням точок контуру (рис. 3).

У випадку пружної деформації поля, наближені вирази для початкових та додаткових прогинів виберемо однаковоими у вигляді, який відповідає розв'язанню аналогічної задачі у випадку пластини малого прогину [5], 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 з теорією гнучких пластин і оболонок [1], має вигляд:

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

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

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

$\nabla^2 (*) = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} (*) \right)$ — 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.

Підставляючи вирази (1) в рівняння (3), отримаємо

$$\frac{d}{dr} (\nabla^2 \Phi) = -\frac{8E}{R^3} (f^2 + 2f_{nc}f) \left(\frac{r}{R} - 2\frac{r^3}{R^3} + \frac{r^5}{R^5} \right). \quad (4)$$

Знайдемо похідну $\frac{d\Phi}{dr}$, для цього інтегруємо (4), помножимо його на r та інтегруємо ще раз, отримаємо

$$\frac{d\Phi}{dr} = \frac{E(f^2 + 2f_{nc}f)}{6R} \left(3\frac{r}{R} - 6\frac{r^3}{R^3} + 4\frac{r^5}{R^5} - \frac{r^7}{R^7} \right). \quad (5)$$

Скористаємось для інтегрування рівняння (2) методом Бубнова-Гальоркіна. Для цього подамо його у вигляді

$$X = D \frac{d}{dr} (\nabla^2 \omega) - \psi - \frac{\delta}{r} \frac{d\Phi}{dr} \left(\frac{d\omega}{dr} + \frac{d\omega_{nc}}{dr} \right). \quad (6)$$

Обчислимо кожний з членів рівняння (6).

Оскільки $\nabla^2 \omega = -\frac{8f}{R^2} \left(1 - 2\frac{r^2}{R^2}\right)$,

відповідно

$$D \frac{d}{dr} (\nabla^2 \omega) = D \frac{32fr}{R^4}. \quad (7)$$

Функція навантаження має вигляд $\psi = \frac{1}{r} \int_0^r Pr dr$, а при $P = const$

$$\psi = \frac{rP}{2}. \quad (8)$$

Наступна складова рівняння (6)

$$-\frac{\delta}{r} \frac{d\Phi}{dr} \left(\frac{d\omega}{dr} + \frac{d\omega_{nc}}{dr} \right) = \frac{\delta E(f^2 + 2f_{nc}f)}{6R} \left(3\frac{r}{R} - 6\frac{r^3}{R^3} + 4\frac{r^5}{R^5} - \frac{r^7}{R^7} \right) \times \left(\frac{4f_{nc} + 4f}{R} \right) \left(\frac{r}{R} - \frac{r^3}{R^3} \right). \quad (9)$$



Об'єднуючи ці результати в рівнянні Бубнова-Гальоркіна

$$\int_0^R X \frac{d}{dr} \eta_r r dr = 0,$$

де функція [1], враховуючи, що мембрана є опуклою, навантаження спрямоване проти початкового прогину, змінюючи через це знак при f_{m1} на мінус та вводячи безрозмірний параметр $\rho = \frac{r}{R}$, отримуємо це рівняння у вигляді

$$\int_0^1 \left[32Df\rho - \frac{1}{2}P\rho R^4 - \frac{E\delta}{\rho} \frac{2}{3} (f^3 - 3f^2 f_{m1} + 2f_{m1}^2 f) (3\rho - 6\rho^3 + 4\rho^5 - \rho^7) (\rho - \rho^3) \right] \times (\rho - \rho^3) \rho d\rho = 0. \quad (10)$$

Після розв'язання, рівняння (10) матиме вигляд:

$$\frac{8}{3} Df - \frac{PR^4}{24} + \frac{1}{28} E\delta (f^3 - 3f^2 f_{m1} + 2f_{m1}^2 f) = 0. \quad (11)$$

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

Література

1. *Вольмир А.С.* Гибкие пластинки и оболочки [Текст] / А.С. Вольмир. — М.: Изд-во технико-теоретической лит., 1956. — 419 с.
2. *Котельников А.Ф.* Исследование условий изготовления и применения крышек из тончайшей жести для стеклянной консервной тары [Текст]: дис. ... канд. техн.

наук: 05.02.14: захищена 27.04.73: / Котельников А.Ф. — О., 1973. — 157 с.

3. *Ватренко О.В.* Дослідження стійкості поля кришок типу III [Текст] / О.В. Ватренко // Обладнання та технології харчових виробництв : Зб. наук. пр. / ДонНУЕТ. — Донецьк, 2009. — Вип. 20. — С. 11–17.

4. *Ватренко О.В.* Перевірка стійкості поля кришок типу III-82 [Текст] / О.В. Ватренко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : Зб. наук. пр. / ХДУХТ. — Х., 2009. — Вип. 9. — С. 313–318.

5. *Тимошенко С.П.* Пластинки и оболочки [Текст] / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер; пер. с англ. — М.: Наука, 1966. — 635 с. *Ж*

Мембраны крышек консервной стеклянной тары (обоснование их работы)

А.В. Ватренко, д.т.н.

В статье дается описание конструкции и принципа работы мембран вакуумных металлических крышек для стеклянной тары. Путем использования математического аппарата теории гибких пластин и оболочек, приведена методика приближенного расчета рабочей части мембраны и получено уравнение взаимосвязи давления, геометрических параметров и толщины мембраны. Полученное уравнение дает возможность моделировать работу мембран крышек для обоснования их конструкций.

Ключевые слова: гибкая мембрана; контролируемая потеря устойчивости; прогиб; критическое давление.

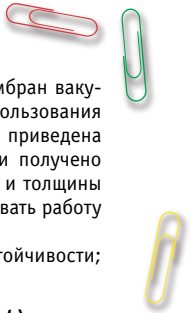
Membranes caps for glass containers (the rationale for their work)

A.V. Vatrenko, Dr.

Author describes the design and operation of vacuum membrane metal caps for glass containers. He gives an approximate calculation procedure of the working part of the membrane by using the mathematical apparatus of the theory of flexible plates and shells. The author gives the resulting equation relationship pressure, geometry and thickness of the membrane.

The resulting equation allows to simulate the work covers the membranes to justify their designs.

Keywords: flexible membrane; controlled loss of stability; deflection; critical pressure.



SisTrade
Software Consulting, s.r.l.
inov@sistrade.com | sistrade.com

Повищення ефективності
Економія часу
Сниження затрат
Улучшення производства
Опережение конкурентов

Порту - Лиссабон - Мадрид - Милан - Париж - Варшава - Любляна - Франкфурт - Стамбул - Абу-Даби - Мехико

Решения MIS | ERP
для печати, производства упаковки и этикетки

Sistrade охватывает все требования предприятия

- ✓ Управление продажами и калькуляции
- ✓ Управление финансами
- ✓ Запасы и закупки
- ✓ Управление производством

100% WEB

Многоязычное - Кроссплатформенное. Просто и легко в использовании!