

Одеська національна академія харчових технологій

Маламен Георгій Дмитрович

УДК 621.798.1:664

**Наукове обґрунтування і розробка оптимальних конструкцій тари ДЛЯ
ПАКУВАННЯ харчових продуктів**

Спеціальність 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та
фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Одеса — 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор **Гладушняк Олександр Карпович**, Одеська національна академія харчових технологій, завідуючий кафедрою технологічного обладнання харчових виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Гавва Олександр Миколайович**, Український національний університет харчових технологій, професор кафедри технічної механіки і пакувальної техніки

доктор технічних наук, професор **Дударєв Іван Романович**, Одеський державний аграрний університет, професор кафедри механізації та автоматизації сільськогосподарського виробництва

доктор технічних наук **Коптюх Леонід Андрійович**, ЗАТ "Український науково-дослідний інститут паперу", заступник голови правління з наукової роботи

Провідна установа Харківська державна академія технологій та організації харчування, кафедра устаткування підприємств харчування Міністерства освіти і науки України, м.Харків

Захист відбудеться 19.12.2002 р. о 10-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 при Одеській національній академії харчових технологій (65039, м.Одеса, вул. Канатна, 112).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій (65039, м.Одеса, вул.Канатна, 112).

Автореферат розіслано 18.11.2002 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, д.т.н., професор

О.І.Гапонюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Термін "Упаковка" об'єднує різні сфери економіки та екології. Це виробництво таропакувальних матеріалів, виробництво та споживання пакувальних виробів і тари, машин та обладнання для пакування, дизайн, утилізація, переробка та інші екологічні проблеми. Споживання упаковки в середньому світі дорівнює \$ 83/на людину; у розвинутих країнах – \$ 400/на людину; у всіх інших – \$ 38/на людину. На Україні більш ніж половини тари виробляється з деревини та картону, частка пластмасової тари складає 3%, що в 10 разів менш ніж у західних країнах. Всесвітні тенденції розвитку тари доводять, що споживання її з традиційних пакувальних матеріалів буде зростати на 1...2%, а пластмасової – не менш як на 4% за рік. Тара є необхідний елемент упаковки будь-якого технологічного процесу виробництва, зберігання та транспортування харчових продуктів. Від її надійності залежить ефективність функціонування всього ланцюга: виробник сировини - переробне підприємство - споживач.

Тара може бути багатофункціональною (технологічною, споживчою та транспортною) або багатообіговою (транспортною). Вимоги до цих типів тари різні.

Багатообігова транспортна тара в багатьох випадках виготовлена за розробками і на пресформах закордонних фірм, але при цьому використовуються матеріали вітчизняного виробництва, що за своїми фізико-механічними характеристиками поступаються зарубіжним аналогам. Термін використання тари з вітчизняних

матеріалів менше встановленого стандартом (3 роки) і складає від кількох місяців до 1,5-2 років. Виключити ці недоліки можна тільки на підставі встановлення впливу діючих на тару зовнішніх сил, впливу кліматичних чинників на матеріал, з якого виготовлена тара, та розробкою нових конструктивних схем тари.

Уніфіковані ряди тари різних конструкцій розроблені, проте методика вибору типу тари для конкретної продукції або цілого ряду одноманітних продуктів відсутня.

Також відсутні математичні моделі для оптимального конструювання тари, для аналізу витрат матеріалу, вивчення їх напружено-деформованого стану.

У зв'язку з викладеним наукове обґрунтування принципів конструювання, вдосконалення та вибору тари і упаковки для зберігання і транспортування харчових продуктів, що дозволяє зберегти споживчі властивості продуктів, та підвищити міцність та довговічність, виготовленої з наявного матеріалу є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Підставою для початку робіт за цією темою стало звернення ВВО "Союзхарчотара" в 1986 році до керівництва ОТІХП ім. М.В.Ломоносова про важливість та необхідність виконання такої роботи.

Дисертаційна робота базується на виконаних держбюджетних та госпдоговірних роботах ОДАХТ №51/86 "Оптимізація конструктивних елементів транспортної полімерної тари", №302-89 "Аналіз міцності і розрахунок конструктивних елементів, виробів уніфікованого ряду тари з полімерних матеріалів", №302-90 "Дослідження і розрахунок оптимальних конструктивних елементів транспортної тари з пластмас", №1-94 "Модернізація, авторський нагляд за виготовленням та наладкою формуючого інструмента елементів жерстяних банок з переходом на тонку жерсть і №2-95 "Експертна оцінка технічного стану обладнання жерстянобаночних виробництв з послідуною модернізацією". Робота виконувалась також у рамках держбюджетних планів ОДАХТ кафедри технологічного обладнання харчових виробництв і відповідає Закону України від 11 липня 2001 р. № 2623-3 "Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки".

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є зменшення витрат тарного матеріалу, забезпечення міцності і довговічності тари на розрахунковий термін роботи в залежності від дії зовнішніх сил, кліматичних чинників та властивостей продукту.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати технологічний процес транспортування, зберігання і реалізації харчових продуктів з метою збереження їх споживчих властивостей;
- провести аналіз умов навантаження тари для визначення діючих на неї сил;
- узагальнити наявні конструкції металевої, скляної, картонної і полімерної тари;
- розробити базові розрахункові методики для кожного виду тари;
- виконати теоретичні дослідження напружено-деформованого стану конструктивних елементів тари та провести експерименти з кожним видом тари для перевірки розроблених математичних моделей;
- провести обстеження тари, що знаходиться в експлуатації, визначити обіговість, термін служби і типові руйнування її конструктивних елементів;
- визначити механічні властивості тари (банок, ящиків) різних заводів, нових і таких які були в експлуатації, а також їх матеріалу;
- розробити методику розрахунку статичної і динамічної міцності тари з урахуванням умов її експлуатації і зміни фізико-механічних властивостей матеріалу внаслідок старіння і санітарної обробки;
- розробити рекомендації по оптимальному конструюванню елементів багатофункціональної та багатообігової тари при заданому терміні служби.

Об'єкт дослідження – тара для пакування та транспортування харчових продуктів.

Предмет дослідження – розробка науково обгрунтованих конструкцій тари, які мають мінімальну матеріалоемність і гарантований термін роботи.

Методи дослідження – експериментальні (на розроблених дослідних стендах і сучасному обладнанні науково-дослідних інститутів) і розрахункові – на базі моделювання тари з використанням метода скінчених елементів, прикладної та будівельної механіки, теорії коливань.

Наукова новизна одержаних результатів. В основу роботи покладена наукова концепція, яка полягає в тому, що нові результати можуть бути отримані сполученням науково обгрунтованих методів визначення раціональних геометричних і міцностних параметрів тари з вимогами до їх конструкції, щодо максимального збереження споживчих властивостей харчових продуктів. На основі проведених досліджень отримані такі наукові результати:

- визначені зовнішні і технологічні сили, що діють на тару в залежності від умов навантаження, транспортування і перевантаження;
- розроблені математичні моделі тари, котрі дозволять визначити мінімальні витрати тарного матеріалу, а також проаналізувати напружено-деформований стан її елементів в залежності від умов навантаження;
- запропоновані рівняння для визначення раціональних геометричних розмірів тари, яка має грану або поверхню обертання, які є базою для міцностних розрахунків;
- розроблено наукову методику розрахунку і конструювання тари, що має підвищену міцність та довговічність за умовами її виготовлення з наявної сировини вітчизняного виробництва та дозволяє зберегти споживчі властивості продукції;
- обгрунтовані основні співвідношення між конструктивними елементами тари, які дозволяють отримати рівноміцні конструктивні елементи тари;
- доведено, що збільшення маси основних несучих елементів ящиків на 20...30% збільшують термін служби тари не менш ніж у 1,5 рази і скорочують експлуатаційні витрати на 30%.

Отримані результати по дослідженню математичних моделей тари, а також нові експериментальні дані по фізико-механічним характеристикам тарних матеріалів і конструкції тари дозволили вирішити проблему конструювання тари з необхідними властивостями.

Теоретичне узагальнення результатів проведених досліджень дозволило вирішити наукову проблему по обгрунтуванню і розробці тари оптимальної конструкції.

Практичне значення одержаних результатів. Теоретичні і експериментальні результати, отримані при виконанні цієї роботи, використано при розробці і впровадженні в експлуатацію нових конструкцій тари для плодів і овочів, для дріжджів, консервованої продукції, а також для модернізації існуючих конструкцій тари з метою підвищення її міцності і довговічності.

Результати роботи використані:

- при розробці нових конструкцій багатофункціональної та багатообігової тари, яка забезпечує цілісність споживчих властивостей харчової продукції на визначений термін зберігання і рекомендацій по визначенню основних параметрів конструктивних елементів тари меншої матеріалоемності і гарантованому терміну роботи;
- при визначенні вимог до сировини для виготовлення тари та граничних навантажень на існуючі конструкції тари в процесі її транспортування і перевантажень з метою підвищення її терміну служби.

Отримані результати впроваджені при розробці тари в НВО "Агропромпрогрес", консервних заводів м.Одеси і м.Каменка.

Особистий внесок здобувача. В наукових роботах і авторських свідоцтвах,

опублікованих у співавторстві, дисертанту належать основні ідеї, наукове обґрунтування теоретичних положень, розробка математичних моделей і алгоритмів, реалізації їх на ЕОМ, постановка і інтерпретація результатів досліджень, формулювання висновків і результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення теоретичних і експериментальних досліджень доповідались і отримали позитивну оцінку на: - Всесоюзній конференції по тарі і упаковці в харчовій промисловості (Львів, 1989); Міжнародній науково-технічній конференції "Розробка та впровадження нових технологій та обладнання в харчовій та переробній галузях АПК (Київ, 1993); IX Міжнародній конференції "Удосконалення процесів та апаратів хімічних харчових та нафтохімічних виробництв (Одеса, 1996); XVIII конференції країн СНД "Дисперсійні системи" (Одеса, ОГУ, 1996); Науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ОДАХТ (Одеса, 1993-2001).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в наукових роботах, в тому числі: 23 статей в наукових фахових виданнях, 5 авторських свідоцтв, один патент, чотири статті депоновані і анотовані у наукових журналах.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, дев'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

Робота викладена на 332 сторінках, має 117 рисунків (на 35 сторінках), 46 таблиць (на 30 сторінках), 5 додатків (на 43 сторінках), 161 літературних джерел (на 13 сторінках).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, показано її народногосподарське значення, сформульовані мета і задачі досліджень.

В першому розділі наведено класифікацію упаковки (ДСТУ 2890-94), яка розподіляється на тару та допоміжні пакувальні засоби, а також результати аналізу технологічного процесу зберігання і транспортування харчових продуктів в тарі, виготовленої з різних матеріалів, з метою визначення умов зберігання і навантажень. Тара для харчових продуктів може бути багатофункціональною (консервна, споживча, транспортна) або багатообіговою (транспортною). Перша використовується як транспортна тільки один раз. Так, наприклад, консервна жерстяна тара великих розмірів (ж/б № 14, № 15), ще в процесі наповнення томатною пастою деформується і змінює геометричну форму. Це приводить до витрат готової продукції та її конкурентоспроможності. Необхідно розробити таку конструкцію тари, котра була б стійкою до технологічних та зовнішніх чинників, а також була менш матеріалоємною. Для багатообігової тари як показано роботами Є.П.Широкова, С.В.Харламова, Ю.Г.Скорикової, Л.В.Метлицького та інших авторів, а також в дослідях проведених у Всесоюзному науково-дослідному інституті тари та упаковки (ВНДЕКІТУ) при тривалому зберіганні плодів, овочів в свіжому стані необхідно регулювати процеси дихання і мати зв'язок продукції з навколишнім середовищем. Встановлено, що між завантаженими ящиками в стовпці повинен бути забезпечений простір для відведення вуглекислого газу. Основні вимоги до конструкції тари, виходячи з умов тривалого збереження споживчих властивостей продукту, наведено в табл. 1.

Особливі вимоги ставлять до матеріалів, з яких виробляється тара і упаковка. В процесі експлуатації полімерний матеріал зазнає впливу зовнішнього середовища і впливу продукту, які змінюють структуру і властивості початкового матеріалу, викликаючи його деструкцію. В процесі деструкції низькомолекулярні речовини: мономери, олігомери, т.і. можуть мігрувати в харчовий продукт.

В дослідженнях В.В.Станкевича, А.Г.Сироти, С.А.Рейлінгера та інструкціях по

санітарно-хімічному дослідженню виробів із полімерних матеріалів показано, що в деяких випадках міграція продуктів деструкції матеріалу тари перевищує міграцію продуктів з початкового матеріалу. Санітарно-гігієнічні дослідження показали, що серед синтетичних матеріалів, що дозволені для використання в харчовій промисловості, найбільш розповсюдженими є поліетилен високого тиску низької міцності (ПЕВТ) і поліетилен низького тиску високої міцності (ПЕНТ).

Таблиця 1

Найменування продукції	Умови зберігання	Вимоги до тари
Томати	Вентиляція в штабелі і між ящиками	Суцільні бокові стінки, просвіт між ящиками в стопі і штабелями
Цибуля	Активне провітрювання	Решітчата конструкція
Картопля	Активне вентиляювання	Решітчата конструкція, просвіт між ящиками
Корнеплоди	Вентилювання згори	Суцільні бокові стінки і дно, без кришки
Огірки	Вентилювання згори	Суцільні бокові стінки і дно, без кришки
Груші, яблука	Вентиляція в штабелі і стовпці, щільне укладення	Просвіт між ящиками
Ягоди	Активна вентиляція згори	Суцільне дно і стінки, просвіт між ящиками

Аналіз транспортно-технологічних схем обробки тари на різних підприємствах з різноманітною продукцією показав, що на неї впливає весь спектр статичних, динамічних і циклічних навантажень, що викликані вертикальними силами тяжіння завантажених ящиків стовпця, а також кліматичного і температурного впливів, що пов'язані з санітарною обробкою тари. З зазначеного випливають основні вимоги, що визначають конструкцію тари і її елементів:

- збереження споживчих властивостей харчового продукту при транспортуванні, зберіганні і реалізації;
- запобігання механічного пошкодження продукту всередині тари (висота заповнення, тиск на продукт вищестоячого ящика, можливість співудару продукту);
- механічна міцність конструктивних елементів тари при заданому терміні служби;
- максимально можливе заповнення ящика; габаритних розмірів тари, що враховує розміри транспортних піддонів.

В другому розділі складено математичні моделі для знаходження мінімальних витрат матеріалу на виготовлення тари. Визначені геометричні розміри циліндричної, конічної і призматичної тари, за умови що забезпечують мінімальні витрати тарного матеріалу.

Для циліндричної тари відношення висоти H до діаметра D рекомендується вибирати в

$$\frac{H}{D} \leq 1,4,$$

де V - об'єм банки;

K - кількість донець;

d_1 і d - товщина матеріалу корпусу та донець відповідно.

Для зрізаної конічної поверхні оптимальне значення

де d - менший діаметр, а h - висота зрізаного конуса.

Якщо конус не зрізаний, то $d = 0$; $h = H$

Оптимальне співвідношення для повної конічної поверхні (така, що має основу), таке
Рекомендованим співвідношення геометричних розмірів призматичної тари є:

де a і b - розміри основи тари (тобто основа тари - квадрат);
 j - кількість донець (клапанів) тари.

$$K = \frac{C_T}{C_M} :$$

Відношення K вартості тари C_T до вартості продукції в цій тарі C_M
циліндричної $K_{Ц}$ та призматичної $K_{П}$ тари ці співвідношення такі:

де r_T, r_M - густина матеріалу тари та продукції $l=H/D$;

q_T, q_M - приведена вартість матеріалу тари та продукції.

З використанням отриманих співвідношень виконано аналіз конкурентноздатності різних типів тари і розроблено рекомендації по визначенню мінімальних об'ємів упакованої продукції.

Для тари, що виготовлена з листового матеріалу (форматних листів) методами лінійного програмування складено алгоритм його розкрою при мінімальних відходах. Запропоновано показник оптимальності тари з обмеженим терміном експлуатації.

В третьому розділі розглянуто конструктивні елементи тари однакового призначення різних заводів-виготовлювачів, а також конструктивні виконання тари для різних харчових продуктів. Систематизовані характерні пошкодження елементів тари, що використовуються на харчових підприємствах.

Обстеження місць пошкодження тари показало, що в основному вони носять крихкий характер і викликані різноманітними зовнішніми навантаженнями, процесами старіння пластмас та наявністю концентраторів напружень. Іноді руйнування має втомний характер. Аналіз зруйнувань більш ніж 2000 ящиків для пляшок показав, що найбільш розповсюдженими є такі три види пошкоджень: руйнування стояків посередині верхньої вільностоячої їх частини - 30%; руйнування посередині верхніх з'єднуючих планок - 30%; руйнування в місцях сполучення верхніх планок зі стояками - 30%. Основною причиною руйнування ящиків для плодів і овочів, ковбасних виробів і копченостей є вертикальний розлам ящика в місці сполучення бокових стінок. На основі аналізу місць руйнування тари встановлено, що її конструктивні елементи повинні розроблятися з урахуванням вертикальних і горизонтальних сил, а також з урахуванням погіршення міцності поліетилену в процесі тривалої експлуатації.

В четвертому розділі викладено результати дослідження навантажень на конструктивні елементи тари, що розглядалися у вигляді просторової стержньової конструкції.

На нижній найбільш навантажений ящик стовпця окрім вертикальних сил діють і горизонтальні сили, котрі викликані наявністю ухилів доріг і відхиленням несучої платформи на кут b (до 6°) і сил інерції T_i внаслідок прискорення при початку руху і гальмування транспортного засобу.

З урахуванням цього, сили що прикладені до несучих стояків ящика, що знаходиться на наклонній несучій платформі. визначаються залежностями:

де A, B, C, D – сили, що прикладені до стояків ящика, H ; a і b розміри ящика в плані; j - кут відхилення місця прикладення сили R . Найбільш навантаженим стояком ящика буде стояк при $j = j_0$, а $tgj_0 = a/b$.

Розглядаючи просторову конструкцію ящика, як утворену плоскими рамами (фермами) визначали зусилля в стрижнях способом розкладу на плоскі рами. Для силового розрахунку використано комбінований спосіб розрахунку: при симетричному навантаженні – метод переміщень, а для несиметричного - метод сил. Прикладаючи отримані значення вертикальних складових сил A, B, C, D і горизонтальних $T = R \sin j$ визначають внутрішні силові чинники в конструктивних елементах ящика. На прикладі ящика №5 виконали перевіряючи розрахунки для визначення напруги в його елементах. Результати розрахунку показали, що найбільш навантаженим є місце сполучення верхніх планок зі стояками ящика. Перевірку на міцність і тривалість стиснуто-зігнутого стояка виконували за формулою:

(2)

де $a = s_0/s_{kp}$ - відносна лінійна напруга, e - відносний ексцентриситет прикладеної осьової стискаючої сили; s_0 – осьова стискаюча напруга; n - коефіцієнт розрахункової довжини стрижня, який залежить від умов спирання його кінців; l - гнучкість стрижня. Перевірка на міцність і тривалість найбільш навантаженого стояка ящика № 5 для пляшок з харчовими рідинами (ГОСТ 17358-80) показала, що вона задовольняє умові (2) для нового ящика.

У випадку зміни розрахункової схеми ящика, необхідно складати нову систему канонічних рівнянь рівноваги його вузлів і отримати залежність для визначення внутрішніх силових чинників в його елементах.

В п'ятому розділі наведено результати досліджень по визначенню основних параметрів, котрі необхідні для розрахунку статичної, динамічної і довговічності тари. Довговічність пакувального матеріалу визначається статичними навантаженнями і кліматичним впливом навколишнього середовища. У випадку, коли механічні навантаження є основними, а також з урахуванням фактору деструкції полімера довговічність може бути визначена за отриманою нами залежністю, яка базується на дослідженнях С.Н.Журкова:

(3)

де (формула Журкова); s_c і s - безпечна та розрахункова напруги; E і E_n - початковий та кінцевий модулі повзучості; t_0 - період коливання кінетичних одиниць; U_0 - енергія активації термохімічної деструкції; g - структурно-чутливий коефіцієнт; R - універсальна газова постійна; T – температура.

Якщо традиційні пакувальні матеріали (картон, скло, жерсть) мають незмінні властивості за терміном зберігання харчового продукту, то у полімерних матеріалів вони змінюються за терміном служби багатообігової тари. Визначимо значення цих величин для залежності (3) для матеріалу, що більш всього вживається в багатообіговій тарі – поліетилену.

В роботах різних авторів наведено різні значення t , U_0 і g для поліетилену, що відрізняються один від одного більш ніж на порядок. В зв'язку з цим, нами були визначені значення цих величин на обладнанні в ВНДЕКІТУ, а саме:

при цьому, більші значення U_0 і g відносяться до менших значень s і більших – T . Використовуючи ці отримані значення величин t_0 , U_0 і g та формулу (3) були побудовані графіки залежності тривалої міцності поліетилену від температури і графіки залежності розрахункових напруг від терміну служби тари при різних температурах. Аналіз цих графіків

показує, що температура починаючи з 25°C до 30°C чинить значний вплив на довговічність поліетилену, а розрахункові напруги при терміні служби 3 роки і температурі 25 °C до 30 °C, $s = (1,6 \dots 3,5)$ МПа, що в середньому відповідає рекомендованій величині безпечної напруги.

При виконанні транспортно-перевантажувальних операцій на тару впливають різні динамічні навантаження, які можуть бути і імпульсними. Графіки імпульсів, що можуть мати місце при виконанні таких робіт, наведено в табл. 2.

Імпульсне навантаження одноразової дії визначається виразом:

Диференціальні рівняння системи під дією імпульсної сили мають вигляд:

$$\dots \quad (4)$$

Розв'язання рівнянь (4) визначається виразами:

$$\dots \quad (5)$$

Підставляючи значення P_0 і $f(t)$ в (5) для різних графіків прикладання імпульсу сили одержимо значення переміщення системи, найбільшого переміщення системи і динамічного коефіцієнта

Аналіз результатів розрахунків для різних технологічних схем обробки тари показав, що стояки ящиків треба розраховувати на тривалість з $y = 2$ (табл. 2, графіки 1, 3), а при проведенні розрахунків на міцність, коефіцієнт динамічності слід вибирати в залежності від умов транспортування, тобто від складової вертикального прискорення a . При $a = (0,1 \dots 0,2)g$, коефіцієнт $y = 1,4 \dots 1,8$, або - усереднений коефіцієнт динамічності при циклічних навантаженнях $y = 1,6$.

В процесі перевезення завантаженої транспортної тари внаслідок нерівностей доріг виникають коливання платформи, які визначають динамічні транспортні навантаження на тару. Після розв'язання диференціального рівняння змущених коливань системи з одним ступенем свободи і при умовах: висота нерівностей дороги до 100 мм, частота коливань несучої платформи (0,7...1,8) Гц і середньоквадратичне прискорення (0,1...0,2)g, отримали значення для динамічного коефіцієнта $y = 1,01 \dots 1,03$.

Отже, транспортування завантаженої тари авто- і залізничним транспортом з частотою коливань платформи до 3 Гц не впливає на її динамічну міцність, а статична і динамічна міцність виробу відрізняються незначно.

Модуль повзучості E_n поліетилену залежить від терміну служби, температури при якій експлуатується тара і від тривалості впливу статичного і циклічного навантажень.

При розрахунках припустимих напруг, без урахування старіння полімера, коефіцієнт запасу міцності n треба брати $n=4$; з урахуванням чинника старіння пластмаси і при заданих умовах експлуатації тари для харчових продуктів нами доведено, що $n=10$.

Тоді припустимі напруження співпадають із рекомендаціями інших авторів по визначенню безпечної напруги для ПЕ, $s_c = 2,41$ МПа.

В шостому розділі викладено результати експериментального визначення механічних характеристик пластмасової тари і її матеріалу.

Випробування зразків, що вирізані з перегородок, бокових планок і стояків нових ящиків, виготовлених з ПЕНТ марки 277-75, виконували згідно ГОСТ 18197-82 на обладнанні ВНДЕКІТУ. В табл. (чисельник) наведено результати дослідів та довідкові дані для ПЕНТ 277-75.

Дослідження фізико-механічних властивостей матеріалу ящиків, котрі були в експлуатації від 3 до 6 років (не захищеного від старіння різними додатками) і відбракованих внаслідок їх руйнування за зазначеною вище методикою показало, що незалежно від заводу-виготовлювача тари (досліди були проведені для тари п'яти різних заводів) межа міцності змінювалася не більш ніж на 10%, відносний розтяг зменшувався до 30% (табл. 3, знаменник).

Таблиця 3

Джерело	Механічні характеристики ПЕНТ 277-75			
	s_T , МПа	s_p , МПа	E , МПа	Відносний розтяг e , %
Зразки з перегородок		26,4/21,5	14,0/16,1	670 390/30
Зразки з стояків	22,0/21,0	14,0/16,1	400	430/120
По даним ТУ 6-05-1870-79	26,0	17,7	750	400

Тому матеріал для виготовлення тари повинен відповідати за своїми механічними характеристиками зарубіжним аналогам ПЕНТ для виготовлення тари марки Вестолен, Хостален або Ельтекс і бути захищеним від термо- і світлодеструкції різноманітними додатками за рецептурами 11, 12, 17, 20, 23 (ГОСТ 16335-85).

Жорсткість окремих елементів ящика для пляшок в цілому визначалася на стендах та розривній машині. На рис. 1 наведено графік згину верхньої довгої з'єднуючої планки, яка навантажена посередині горизонтальною силою для ящиків різних заводів-виготовлювачів тари.

Аналогічно вимірювали згин верхньої короткої з'єднуючої планки і в планках нижнього поясу. Виміри виконували в місці прикладення сили. На рис. 2 показано графік переміщення діагонально-розташованих стояків ящика в місцях 1, 2, 3. З наведених графіків визначаємо, що найменш жорсткими є ящики ОЗУВ, а найбільш жорсткими - ящики фірми IPES.

За такою ж методикою досліджували жорсткість елементів ящиків, що полегшені. З аналізу графіків випливає, що жорсткість полегшеного ящика на 12...15 % менша початкових ящиків. Транспортно-перевантажувальні операції з такими завантаженими ящиками при транспортуванні їх на автотранспорті показали, що в експлуатації вони не відрізняються від серійно виготовлених ящиків. Маса ящика при цьому може бути зменшена на 7...8 %.

В сьомому розділі викладено результати дослідження міцності елементів тари різного виконання і призначення.

Розрахунок тари, як просторової стрижневої конструкції і заміною її плоскими рамами, як, наприклад, ящики для пляшок, зводиться до розв'язання системи канонічних рівнянь. Подання розрахункової моделі тари, як просторової стрижневої конструкції, приводить до розв'язання складної системи рівнянь. Розв'язання цієї системи в загальному вигляді неможливе, тому що для кожної конструкції, що досліджується, треба скласти окрему систему рівнянь і вибирати методику розв'язання.

Для дослідження напружено-деформованих елементів тари чисельним способом була використана програма *LIRA*, що орієнтована на розрахунки просторових стрижневих систем, плит що згинаються і оболонок способом скінчених елементів. На рис. 3 показано деякі з розрахункових схем навантаження ящика №5 силами від ваги 10 завантажених ящиків і при максимальному куті нахилу несучої платформи $b = 6^\circ$. В схемі навантаження 1 (рис. 3) цифрами показано вузли, до яких прикладені розрахункові зусилля. Ці позначки використовуються і для інших схем.

При дослідженні різноманітних схем навантаження розрахункових моделей тари було встановлено, що розбіжність між переміщеннями, отриманими при розрахунках з використанням ППП і експериментальними даними (рис. 2, 3) не перевищує 7%. Розбіжність між величинами моментів і переміщень, що діють в стрижнях плоскої ферми (розділи 4, 6) і просторової конструкції складає не більш 10%. Це вказує на адекватність розрахункової схеми тари її реальній конструкції. На підставі аналізу напружено-деформованого стану конструктивних елементів просторової конструкції тари при різноманітних варіантах навантаження виходить, що навантаження на нижній ящик стопи необхідно прикладати тільки до стояків ящика, виключаючи можливість її рівномірного або нерівномірного прикладення по верхньому поясі; необхідно виключити засіб перекидання ящиків за рахунок навантаження їх силою P по верхній з'єднуючій планці (схема 1, рис. 3); при розрахунку внутрішніх силових факторів необхідно враховувати горизонтальні сили, тому що внутрішні силові чинники від цих сил порівняні з моментами від діючих навантажень.

Дослідженням напружено-деформованого стану конструктивних елементів були піддані одинадцять математичних моделей тари рамної і фермової конструкцій (рис. 4) і однакових габаритних розмірів. При цьому схеми 10 і 11, подібні схемам 1 і 8, але у них один із стояків не спирається на несучу платформу. Варіанти навантаження кожної моделі наведено в табл. 4.

Аналіз результатів досліджень напружено-деформованого стану тари по розрахунковим схемам 1...11 (рис. 4) при навантаженні їх силами (табл. 4) показав, що для всіх розрахункових схем треба виключити можливість навантаження по варіантам 4, 5, 6, 7, 8, 11, тому що розрахункові напруги в 2...4 рази перевищують безпечні, тобто конструкція тари повинна виключати можливість навантаження її такими поєднаннями сил.

В схемах 6, 7, 8, 9 центральний стрижень не навантажений і його можна не вводити до конструкції тари. Якщо конструкція тари виконана по схемам 5, 8, 9 необхідно підсилення верхньої консольної частини боковими розкосами по довгій стороні. Це дозволяє зменшити навантаження на стояк в 2,5...3 рази. У випадку, якщо один з вузлів спирається на несучу платформу (розрахункові схеми 10, 11), то навантаження в елементах дна і нижнього поясу в 2...3 рази більше ніж в подібних розрахункових схемах 1 і 7, що спираються всією площиною на платформу, тобто треба уникати конструкцій ящиків за розрахунковими схемами 3, 5, 6, 9.

№ пп	Схема навантажень	Чисельні величини навантажень	Розрахункові значення u, M, N
1	$A=B=C=D=700H$	$P=300H$	$M_3=17Hm$ $u_3=5,38mm$ $(u_3)_{експ}=5,10mm$
	$z_5=z_1=z_n=z_{12}=0,68$		$N=750H$
2	$q=2,2kH/m$	$M_5=M_6=20Hm$	$N=710H$
3	$A=D=222H$ $B=C=1130H$	$T=280H$	$M_5=M_6=5Hm$ $N=1157H$
4	$A=B=1120H$ $C=D=110H$	$T=280H$	$M_5=M_6=5Hm$ $N=1160H$
5	$A=720H$ $B=860H$ $C=640H$ $D=50H$	$T=160H$ $Q=100H$	$M_5=M_6=4Hm$ $N=910H$
6	$q_1=3,4 kH/m$ $q_2=0,3 kH/m$	$T=280H$	$M_5=M_6=31Hm$ $M_3=23 Hm$ $N=1000H$

Рис. 3. Розрахункові схеми навантажень.

Отже, при конструюванні тари навантаження треба прикладати в верхніх вузлах і вздовж стояків тари; бокові сили повинні сприйматися розкосами, які в залежності від конструкції тари можуть закріплюватися в нижній частині стояка, в місцях закріплення

бокових перегородок зі стояками або дещо вище; необхідно забезпечити максимально можливе спирання дна тари на несучу платформу.

Дослідження напружено-деформованого стану конструктивних елементів і міцності тари відкритої (оболонкової конструкції, яка може бути виготовлена з будь яких пакувальних матеріалів) виконували за програмою *LIRA* способом скінчених елементів в варіанті засобу переміщень.

Розрахунками на міцність підлягали ящики для пляшок №2 і №5 за ГОСТ 17358-80, ящики №15 для ковбаси за ОСТ 49-127-78, ящики № 2, 1, 3 для транспортування овочів і фруктів за ОСТ 10-15-86, ящика №3 для м'ясних продуктів по ОСТ 49-127-78. Використання ППП для дослідження напружено деформованого стану і міцності конструктивних елементів розрахункових моделей тари показано на прикладі розрахунку ящика №3 для плодів і овочів, який має найбільшу висоту (285 мм).

Розрахункова схема чверті ящика зображена на рис. 5 а.

Номери деяких скінчених елементів показано на рис. 5 д, е. Незважаючи на використання симетрії ящика число скінчених елементів дорівнює 753, загальне число невідомих засобів переміщень дорівнює 4985. Граничні умови виділеної чверті ящика залежать від вигляду навантажень. На рис. 6 показано різні варіанти одиничних навантажень і відповідні їм умови закріплення.

Таблиця 4

№ п/п	Варіанти навантаження тари									
	кН	кН/м								
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>T/2</i>	<i>Q/2</i>	<i>P</i>	$q1 = q2q3 = q4$		
1.	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-	-			
2.	-	-	-	-	0,1	-	-			
3.	-	-	-	-	-	0,1	-			
4.	-	-	-	-	-	-	-	2,0	2,0	
5.	-	-	-	-	-	-	-	2,0	1,0	
6.	-	-	-	-	-	-	-	2,0	0,2	
7.	0,1	0,55	0,55	0,1	0,14	0,14	-	0,3	1,5	
8.	0,55	0,55	0,05	0,05	0,14	0,04	-	1,7	0,15	
9.	1,1	1,1	0,1	0,1	-	0,14	-			
10.	-	-	-	-	-	0,14	-	3,4	0,3	
11.	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	

Аналізом отриманих значень нормальних і дотичних напружень у центрі кожного кінцевого елемента для одиничних навантажень (рис. 6) доведено, що найбільш навантаженими є елементи, які прилягають до нижньої грані.

Найбільш небезпечним при цьому є перше одиничне навантаження (рис. 6). На рис. 5 б, г зображено епюри еквівалентних напружень у найбільш навантажених перерізах А-А, Б-Б ящика.

Навантаження II, III, VII викликають відносно незначні напруження. Навантаження VI описує тиск овочів на бокові стінки ящика при його нахилі, і це навантаження дає значні величини напружень. Головні і еквівалентні напруги визначали по залежності:

$$s_{екв.} = s_{max} - k s_{min},$$

де $k = s_p / s_{сж}$, а s_p і $s_{сж}$ - межа міцності ПЕНТ при розтягуванні та стискуванні.

Значення s_{max} , s_{min} , $s_{екв}$ приведені в табл. 5. Аналіз результатів показує, що порушення міцності $s_{екв} \leq [s] \leq s_c = 2,4$ МПа має місце в елементах 319, 554, 499, 600, які прилягають до нижнього опорного вузла.

Таблиця 5

Напруження (МПа) s_{max} , s_{min} , $s_{екв}$ в елементах овочевого ящика №3 при розрахункових сполученнях навантажень 1...5

№ KE 1	№ KE 2	№ KE 3	№ KE 4	№ KE 5
2	3	4	5	6
1	10,71	22,77	18,53	0,35
319	-0,13	319 -0,48	319 22,61	695 18,58
	10,75	22,61	18,58	1,43
	-2,59	-3,71	-3,96	3,82
458	-5,16	458 -7,41	458 -7,00	734 1,38
	0,77	1,10	1,18	3,33
	7,46	9,89	10,22	1,26
459	3,15	459 4,17	459 4,48	459 1,38
	6,35	8,42	8,63	1,21
	18,31	23,30	24,69	3,59
554	3,09	554 3,45	554 3,86	554 0,76
	17,23	22,08	23,33	3,32
	6,51	0,35	9,96	
600	0,60	600 0,85	600 0,91	
	6,30	9,05	9,64	

Аналогічна картина в скінчених елементах, що лежать в перетинах А-А і Б-Б (рис. 5 б, г). Значні напруження (до 25 МПа) в означених елементах є наслідком згину елементів дна через ексцентричне положення нижньої опорної вертикальної планки відносно стінок ящика.

Треба зазначити повний збіг місць руйнування ящика при експлуатації з найбільш навантаженими скінченими елементами, що отримані розрахунками (рис. 5 б, г).

Аналогічно аналізували напружено-деформований стан конструктивних елементів зазначеної вище тари. Результати обчислень повністю підтвердили висновки, які отримали раніше при аналізі розрахункових просторових моделей тари відносно конструкцій і засобів навантаження.

При відомих напруженнях в елементах тари можна оцінити вплив чинників старіння пластмас на термін служби тари. Довговічність t визначається виразом (3) (величина найбільших еквівалентних напружень для ящика №15 дорівнює $s = 2,3$ МПа) і наведена в табл. 6.

Таблиця 6

$t\phi$	Довговічність ящика №15 (років)		
	Умови експлуатації	Довговічність	Без врахування старіння
	3	З врахуванням старіння пластмаси (без сан. обробки)	З врахуванням старіння і сан. обробки
	1,9...4,9	1,0... 2,5	0,25...1,4

Вплив санітарної обробки ящиків гарячими мийними розчинами дуже суттєвий (табл. 6), при цьому термін служби ящиків зменшується не менше ніж в 4 рази і співпадає з дійсним терміном служби ящика №15 (3...4 місяці), при числі обігів в рік, який дорівнює 200.

В восьмому розділі викладена математична концепція остаточного руйнування транспортної тари під дією циклічних навантажень.

Внаслідок крихкого руйнування тари застосовані методи лінійної механіки руйнування. Зв'язки між напругами і деформаціями вважають лінійними. Залежність для визначення коефіцієнту інтенсивності напружень K_I таке

де l - довжина тріщини, Y_I - поправочна функція.

Між K_I і швидкістю тріщин v є функціональна залежність, яка визначається кінетичною діаграмою втомного руйнування (КДВР). Використовуючи дослідні дані побудована КДУР для тарного поліетилену.

Залишковий ресурс роботи тари N за наявності початкової тріщини l_0 розраховується за залежністю:

$$A = \left(\frac{K_*}{\Delta \sigma \sqrt{T}} \right) 10^4 \quad \text{цикл, мм}^{\frac{n}{2}-1};$$

де n і K_* - дослідні сталі матеріалу; l_c - критичний розмір тріщини; $Ds = s_{max} - s_{min}$ - розмах напружень.

Результати розрахунків N свідчать про сталі властивостях матеріалу тари ($n = 2$) залишкова довговічність нижнього ящика у стовпці дорівнює 1...3 місяців, при $n = 4...6$ - до одного місяця.

В дев'ятому розділі викладено основні положення для оптимального конструювання елементів тари для пакування харчових продуктів.

Основними несучими елементами жерстяних банок є корпус банки. На нього діє осьове навантаження Q_0 від рівностороннього тиску, що спричиняється технологічним процесом стерилізації або гарячого наповнення та вертикальними навантаженнями від штабелювання на піддонах (Q_1 - в один ярус; Q_2 - в два яруси; Q_3 - в три яруси).

Приведені навантаження Q_q визначаються як сума Q_0 і Q_2 або Q_0 і Q_3 (табл. 7).

Стандартні конструкції банок не забезпечують жорсткість їх корпусу, що приводить до браку ж/б №14 - 44 % та ж/б №15 - до 60 %. Підвищення усталеності корпусу банки може бути досягнуто або за рахунок підвищення товщини жерсті S , або за рахунок вдосконалення конструкції банки. Для підвищення жорсткості корпусів банок на них наносять кільцеві зиги. Однак кількість, форма та їх розташування не визначені нормативно-технічною документацією.

Теоретичні дослідження по визначенню усталеності корпусів банок виконувались для зигів, конструкцію котрих показано на рис. 7.

Умова усталення при комбінованому навантаженні має вигляд

$$N/N_{кр} + P/P_{кр} = 1,$$

де N і $N_{кр}$ - розрахована і критична стискаюча сила в осьовому напрямку, що визначається за формулою Лоренца-Тимошенка, P і $P_{кр}$ - розраховане та критичне значення тиску від всебічного тиску, що визначається за залежністю П.Р.Папковича.

Таблиця 7

Конструктивні розміри та навантаження на банки

Номер банки на корпус, Н/см	Конструктивні параметри, мм		Кількість зигів	Погонне навантаження					
	Внутрішній діаметр D	Товщина корпусу, S		Висота, H	Q ₀	Q ₁	Q ₂		
								Q ₃	Q _q
№14	151,3	0,25	172,5	4	33,8	67,6	72,7	77,8	105,42
№15	215,0	0,32	249,7	5	42,5	95,0	109,65	115,3	159,0

Дослідження напружено-деформованого стану корпусу банки дозволило сконструювати та виготовити декілька варіантів банок з найбільш оптимальними профілями зигів (рис. 7). Лабораторні та дослідно-промислові дослідження довели, що тороїдальні зигі рівнорозташовані за схемою $n + n$ ($5 + 5$, для ж/б №14) та за схемою $n + m + n$ ($3 + 6 + 3$ для ж/б №15) є найбільш оптимальними. Напруги, розраховані методом скінчених елементів, в зигованих стінках корпусу банки $s_z = (120...150)$ МПа знаходяться в межах упруго-пластичної зони і менш ніж $s_T = 280$ МПа (рис. 8 в).

Промислові дослідження розроблених конструкцій банок (рис. 8 а, б) з геометричними параметрами, наведеними в табл. 8, довели, що банки нової конструкції виготовлені на зиговочній машині KEZ 100.1 фірми "BLEMA" (ж/б №14) і зиговочному верстаті (ж/б №15) з розробленим нами формуючим інструментом, мають підвищену жорсткість корпусу і меншу товщину жерсті.

Ці банки виготовляють на ЗАО "Одеський консервний завод" та консервному заводі "Ільчівський" м.Одеса.

Основними несучими елементами тари для навалочних вантажів є бокові стінки. Проведені дослідження їхньої міцності і тривалості показали, що їх належить виконувати гофрованими, причому гофри повинні мати трапецеїдальну форму поперечного перетину.

Таблиця 8

Оптимальні конструктивні параметри банок нової конструкції

№ ж/б	Параметри жерсті		Конструкція зигів		Радіус, мм		Осьова сила, кН		
	Зовнішній тиск, кПа		Примітки						
	товщина, мм	ступінь твердості	кількість	глибина, мм					
14	0,23	B	5 + 5	1,2 2,5	3,2	68,0	усталене		
15	0,26... 0,28	A2	3 + 6 + 3	1,2...1,4	3,0	5,4	67,0	усталене	

Кут нахилу бокової стінки трапецеїдальної гофри за нашими розрахунками повинен бути в межах $10^\circ...25^\circ$, а співвідношення кроку профілю p до його висоти t лежить в межах $p/t=2,3...4,5$. Розрахунки агрегатної жорсткості бокових стінок, як анізотропних пластин показують, що поперечна жорсткість хвилеподібного і трапецеїдального профілю відрізняється незначно, але в повздовжньому напрямку жорсткість трапецеїдального гофри в 1,7 разів більше, ніж у хвилеподібного. Для зменшення маси тари в бокових стінках належить виконувати розташовані в шаховому порядку наскрізні отворів. Загальна площа отвору в одному перерізі повинна бути не більш $1/3$ загальної площі перетину стінки. Крім того, наскрізні отвори є перешкодою на шляху розповсюдження магістральних тріщин.

В тарі для пляшок основними несучими елементами є стояки. Нижня частина стояка висотою h закріплена до бокових стінок, а верхня частина стояка - висотою l вільностоячою. Розрахунки на стійкість показали, що величина критичної сили стискання $P_{кр}$ для верхньої частини стояка в 4...8 раз менша, ніж для нижньої її частини. Умова рівності частин верхньої і нижньої частин стояка визначається за виразом:

де n_1, n_2 – коефіцієнти приведення довжини для верхньої частини стояка, I_1 і I_2 - відповідно моменти інерції перерізу стояка. При однаковій конструкції стояка по висоті - $I_1 = I_2$. Тоді

Виходячи з конструкції ящика і умов з'єднання кінців стояка приймаємо $K = 1,45...1,55$. Для ящиків, що випускаються за ГОСТ 17358 - 80 $h = l$ і $K = 1,0$.

Розроблена конструкція ящика для пляшок меншої висоти. В цій конструкції отвори в решітці дна ящика виконані такими, що в них розташовані шийки пляшок з нижчестоячого в стовпці ящика (рис. 8 в). Розміри отвору круглого (рис. 8 а) або іншого вигляду (рис. 8 б) повинні складати 40...65 мм для забезпечення безперешкодного проходу шийки пляшки і при необхідності її надійну фіксацію (рис. 8 в).

Зміна місця закріплення дна ящика по висоті стояка також дозволить збільшити тривалість верхньої частини стояка за рахунок зменшення його висоти. Розрахунки показують, що величина h_0 - відстань від площини спирання ящика до дна дорівнює $h_0 = 0,2H$. Однак, при цьому треба враховувати збільшення навантаження на елементи дна і бокових стінок внаслідок можливого зависання одного з опорних кутів із-за нерівностей опорної площини.

На нижній ящик стовпця діють вертикальні і горизонтальні сили, викликані коливанням несучої платформи і сил інерції. Конструкція ящика така, що вона не розрахована на сприймання горизонтальних сил. З метою блокування горизонтальних сил необхідно підсилення бокових стінок і стояків розкосами в їхній верхній частині. Кут нахилу розкосів $40^\circ \dots 50^\circ$, а відстань b від верхньої частини стояка (стінки) до місця закріплення визначається висотою перегородок між пляшками $b = (0,2 \dots 0,3)H$. Вільностоячий стовпець ящиків формується установкою їх один на одного за допомогою пристроїв, що виконані в вигляді рамки або опорів, які утворені за одне ціле з дном і вільно входять в верхній пояс нижнього ящика. Вертикальна сила від стояка ящика до опорної площини передається з ексцентриситетом її прикладання (10...25 мм). При цьому згинаючий момент посилює напружений стан тари в місці сполучення стінок (стояків) з дном. Виключити цей недолік конструкції можна за рахунок того, що на вузьких боках ящика в верхній частині виконано пристрій для фіксування в вигляді напрямних клинів, а в нижній - відкритих напрямних пазів для центрування і фіксації ящика в стопі. Якщо немає особливих вимог до форми тари, то квадратна форма тари в плані є найкращою. Конструкція кришок повинна охоплювати верхню частину тари і по можливості встановлюватися на напрямні штифти.

Результати проведених досліджень використані при розробці і впровадженню у виробництво нових конструкцій консервної тари (ЖБ №14 і 15) для консервних заводів України (м.Одеса, м.Каменка), а також ввійшли складовою частиною в розробки "Агропромпрогресса" (м.Москва) при конструюванні багатообігової тари різноманітного призначення, в тому числі ящиків для плодів і овочів, дріжджів і пляшок з харчовими рідинами.

ВИСНОВКИ

1. Науково обґрунтовано методику вдосконалення конструювання транспортної тари для зберігання і транспортування харчових продуктів, що дозволяє зберегти споживчі властивості продукції при зберіганні і транспортуванні, а також забезпечити необхідні характеристики міцності тари при гарантованому терміні її служби.
2. Визначено зовнішні статичні і динамічні зусилля на тару, які необхідні для обґрунтування і вибору конструктивних елементів вдосконалених конструкцій тари; оптимальні геометричні розміри тари при мінімальних витратах пакувального матеріалу. Отримані залежності для визначення співвідношення вартості тари і продукції, а також геометричні розміри тари, котрі враховують конкурентноздатність упакованої продукції. Розроблено алгоритм розкрою листового матеріалу для тари.

Отримано показник оптимальності матеріалоемності тари при заданому терміні роботи пластмасової тари.

3. Встановлено закономірності зміни напружено-деформованого стану елементів конструкцій тари при різноманітних навантаженнях в процесі транспортування і перекладання вантажів.

4. Визначено обіговість тари, типові руйнування за п'ятьма конструктивними елементами. Встановлено співвідношення руйнування різноманітних елементів пластмасової тари: а) планок верхнього поясу - 30%; б) стояків в середній частині - 30%; в) верхніх планок посередині ящика - 30%; г) нижнього поясу - 5...10%; д) дна - 5%. Характер поломок - крихке і втомне руйнування.

Показано, що при збереженні плодів і овочів в свіжому вигляді на визначений термін зберігання, необхідно забезпечити вентиляцію продукту всередині ящика, між ящиками в стопі та між штабелями. Мінімальна відстань між ящиками в стопі визначається висотою заповнення і розмірами плодоовочевий продукції.

5. Отримано залежності для визначення навантажень на конструктивні елементи тари з урахуванням всіх зовнішніх навантажень для аналізу напружено-деформованого стану. Розроблено математичні моделі тари, що необхідні для визначення її характеристик з урахуванням флуктуаційних властивостей поліетилену. Адекватність математичних моделей існуючим конструкціям тари підтверджені експериментально. Визначено коефіцієнти динамічного впливу при розрахунках статичної ($y = 1,6...2,0$) і тривалої міцності пластмасових транспортних ящиків. Встановлено, що при частоті коливань несучої платформи до 3 Гц статична і тривала міцність збігаються. Показано, що зовнішнє навантаження повинно прикладатися у вузлах конструкції, тобто вздовж стояків. Можливе і навантаження коротких стінок ящиків розподіленим навантаженням. При відсутності особливих вимог до форми ящиків з точки зору навантаження квадратна форма ящика в плані - найкраща. Верхній пояс і бокові стінки тари належить виконувати гофрованими з трапецеїдальною формою гофри. З метою збільшення міцності і довговічності співвідношення кроку гофрів до висоти - $p/t = (2,3...4,5)$, кут нахилу бокової грані гофри - $(10^\circ...25^\circ)$. За умови рівності співвідношення висот нижньої і верхньої частин стояків ящиків для пляшок вибирати в межах $(1,45...1,55)$. Для зменшення висоти верхньої частини стояка дно ящика виконувати з отвором співвісним з осями пляшок вищестоячого ящика або при необхідності дно ящика закріплювати на висоті $(0,15...0,25)H$ від нижньої частини стояка. Конструкції пристроїв для утворення вільностоячої стопи запропоновано виконувати в вигляді конічних або призматичних клинів або інших пристроїв, що виключають ексцентричне прикладення сили від стінки або стояка до несучої платформи.

6. Показано, що величина напруги від дії горизонтальних сил складає в залежності від конструкції ящика 25 %...30 % від робітничих напружень. Найбільш ефективним засобом блокування зсувних деформацій від горизонтальних сил є введення в конструкцію бокових стінок розкосів, що перетворюють рамну конструкцію бокових стінок у фермову. Оптимальним кутом нахилу розкосів є $(40...50)^\circ$. Місце закріплення розкосів до стояків і верхньої планки залежить від конструкції ящика і засобів технологічної обробки завантажених ящиків. Для стандартної тари, стопа повинна містити не більше 7 ящиків.

7. Складено розрахункову схему і виконано розрахунки на міцність ящиків для навальних вантажів. Найбільша величина еквівалентних напружень дорівнює 2,43 МПа (ящик №15), що не перевищує величини безпечних напружень для нових ящиків і підтверджує його механічну міцність. На термін служби ящиків впливає зменшення

модуля пластичності і відносного подовження поліетилену за рахунок термічної санітарної обробки. Розрахунковий термін служби ящика без санітарної обробки складає (1,9...4,9) років, з санітарною обробкою (0,25...1,4) роки, що значно менше необхідного за стандартом терміну служби. Показано, що умови міцності порушуються в елементах ящика №3, які прилягають до нижнього опорного вузла ящика. Це зумовлено конструкцією елементів бокових стінок і пристроєм для стопування, а саме ексцентричного прикладення сили до нижньої опорної частини дна. Зменшення величин напруги досягнуто за рахунок зміни конструкції опорної частини дна. Показано, що зменшення товщини бокових стінок на 1 мм (з 4 мм до 3 мм) напруження в конструктивних елементах експериментального ящика більше ніж в два рази менші, ніж в відповідних елементах серійних ящиків. Це досягнуто зміною конструкції і місць закріплення дна і перегородок, а також зміною конструкції опорного вузла. Поперечна жорсткість ящиків, які мають верхню кришку, може бути збільшена за рахунок такого конструктивного виконання, що охоплює бокові стінки і встановлюваної на напрямні штифти, замість вкладної. Збільшення маси основних несучих елементів ящика (верхнього поясу і стояків) на 50% призводить до збільшення його початкової вартості на 30%. Проте, термін служби ящика збільшується більш ніж в 1,5 рази, що в решті решт скорочує експлуатаційні витрати на 30%.

8. Оптимальними конструкціями великої консервної тари, що використовується як транспортна є: банка № 14, обладнана 10-ю зигами глибиною не менш 1,2 мм у вигляді групи зигів 5 + 5; банка № 15 має не менше 12 зигів у вигляді групи зигів 3 + 6 + 3, глибиною (1,2...1,4) мм.

9. Встановлено, що зміна фізико-механічних властивостей ПЕНТ особливо при погіршенні механічних властивостей під час експлуатації значно зменшує термін служби тари. Використання домішок проти його старіння обов'язкове. Побудована кінетична діаграма втомного руйнування тарного поліетилену. Визначено остаточний ресурс роботи тари за наявністю початкової тріщини, котрий дорівнює від одного до трьох місяців.

10. Результати дисертаційної роботи використані при конструюванні різних типів тари в АПК, "Агропромпрогрес" (м. Москва) в тому числі при розробці ящиків для навальних і штучних вантажів та нових конструкцій великої консервної тари на підприємствах України.

11. Підсумковий економічний ефект від впровадження результатів роботи складає 30 %...50 % від вартості нового ящика і не менш 1500 грн. на 1000 банок №15 нової конструкції.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. Маламен Г.Д. Напряженно-деформированное состояние элементов пластмассовых ящиков // Пищевая промышленность. - 1990. - №3. - С. 24-27.
2. Маламен Г.Д. Розрахунки та конструювання пластмасових транспортних ящиків //Наук. пр. Одеської держ. акад. харчових технологій. - Одеса, 1996. - Вип. 16. - С. 268-272.
3. Маламен Г.Д. Повышение долговечности ящиков для плодов, овощей // Научн. труды ОГАПТ. - Одесса, 1997. - Ч. II. - С. 304-308.
4. Маламен Г.Д. Влияние конструкции транспортной тары на сохранность плодов и овощей //Научн. труды ОГАПТ. - Одесса,1997. Ч. II. - С. 308-311.
5. Маламен Г.Д. Експериментальні дослідження пластмасових ящиків //Наук. пр. Одеської держ. акад. харчових технологій. - Одеса, 1998. - Вип. 18. - С. 160-163.

6. Маламен Г.Д. Транспортная тара для пищевых продуктов //Упаковка. -К., 1999. - № 1. - С. 39.
7. Маламен Г.Д. Влияние низких температур на прочность пластмассовой тары //Холодильная техника и технология. - Одесса, 1998.-№ 59 (2). - С. 22-24.
8. Маламен Г.Д. Особливості конструювання пластмасових ящиків для штучних вантажів //Наук. пр. /Одеської держ. акад. харчових технологій. - Одеса, 2001. - Вип. 22. - С. 199-202.
9. Маламен Г.Д. Визначення конструктивних елементів тари з урахуванням динамічних навантажень //Наук. пр. /Одеської держ. акад. харчових технологій. - Одеса, 1998. – Вип. 18. - С. 154-159.
10. Маламен Г.Д. Аналіз напружено-деформованого стану тари для пляшок з харчовими рідинами //Наук. пр. /Одеської держ. акад. харчових технологій. - Одеса, 1999. – Вип. 19. - С. 175-178.
11. Маламен Г.Д. Механика усталостного разрушения материала пластмассовой тары //Холодильна техніка і технологія. -Одеса, 2001. - № 4. - Вип. 73. - С. 27-31.
12. Маламен Г.Д. Долговечность полимерной тары // Упаковка. -К., 2001. - № 6. - С. 24-25.
13. Маламен Г.Д. Проектируем тару //Упаковка. -К., 2000. - № 6. - С. 20-22.
14. Маламен Г.Д. Долговечность пластмассовой транспортной тары для пищевой промышленности. //Холодильна техніка і технологія. - Одеса, 2001. - № 5. Вип. 74. - С.56-58.
15. Маламен Г.Д. Проектування тари для пакування харчової продукції // Наук. пр. /Одеської держ. акад. харчових технологій. - Одеса, 2002.– Вип. 23. - С. 254-256.
16. Маламен Г.Д, Котельников А.Ф. Алгоритмы раскроя заготовок //Упаковка. -К., 2000. - № 2. - С. 21-23.
17. Маламен Г.Д., Котельников А.Ф. От романтичности к прагматизму //Упаковка. -К., 2000. - № 1. - С. 26-27.
18. Маламен Г.Д., Котельников А.Ф. Упаковка для консервов //Упаковка. -К., 2001. - № 4. - С. 34-35.
19. Маламен Г.Д., Пташук А.И. Упаковка для хлебопродуктов //Наук. пр. /Одеської держ. акад. харчових технологій. -Одеса, 2001. - №3. -Вип. 21. С. 274-276.
20. Маламен Г.Д., Шендеров А.Р. Исследование прочности пластмассовых ящиков для бутылок с учетом климатических воздействий //Холодильная техника и технология. -Одесса, 2001. - №3. - Вып. 72. - С. 43-45.
21. Маламен Г.Д., Шендеров А.Р. Дослідження напружено-деформованого стану і міцності конструктивних елементів ящика для плодів та овочів //Наук. пр. /Одеської держ. акад. харчових технологій. - Одеса, 1999. - Вип. 20.- С. 285-290.
22. Маламен Г.Д., Шендеров А.Р. Прочность пластмассовых изделий открытой конструкции //Тр. Одесского политехнического ун-та. -Одесса, 2000. - Вып. 2(11). С. 69-73.
23. Chimitsch V.F., Malamen G.D. Ыber die Deformation von Einzeldrhdten bei Zugbelastung und Verdrehung von Spiralscilen. //Wissenschaftliche Zeitschrift TH "O v G", Magdeburg 20, 1976, Heft 6/7.- s. 817-820.

Авторські свідоцтва

24. Полимерный ящик для бутылок: А.с. 1669805 СССР, МКИ В65Д 25/00. /Г.Д.Маламен, А.Ф.Котельников (СССР). - № 4439970/13; Заявлено 13.06.88; опубл. 15.08.91. Бюл. № 30. - 2 с.
25. Стенд для испытания транспортной штабелируемой тары: А.с. 1730545 СССР, МКИ В65Д 1/00. /Г.Д.Маламен, А.Ф.Котельников, Н.М.Бублевский, Р.В.Афанасьев (СССР). - №

- 4704419/13; Заявлено 14.06.89; Опубл. 30.04.91, Бюл. №16. - 3 с.
26. Ящик для бутылок: А.с. 1581661 СССР, МКИ В63Д 1/24. /Г.Д.Маламен, А.Ф.Котельников, Н.Н.Конопинский, Н.М.Бублевский, В.С.Юзюк (СССР). - № 4325013/31-13; Заявлено 05.11.87; Опубл. 30.07.90, Бюл. № 28. - 4 с.
27. Ящик для бутылок: А.с. 1666380 СССР, МКИ В65Д 6/00; 21/02. /Г.Д.Маламен, А.Ф.Котельников, Н.М.Бублевский, Р.В.Афанасьев (СССР). - № 4700456/13; Заявлено 11.04.89; Опубл. 30.07.91, Бюл. №28. - 4 с.
28. Ящичная тара: А.с. 1641713 СССР, МКИ В65Д 6/00; 21/00. /Г.Д.Маламен, А.Ф.Дащенко, А.Ф.Котельников, Н.М.Бублевский, Р.В.Афанасьев (СССР) - № 4700445/13; Заявлено 11.04.89; Опубл. 15.04.91. Бюл. № 14. - 3 с.

Патенти

29. Пластмассовая крышка для укупорки стеклянных банок с буртиком: Пат. № 1807967 АЗ СССР, МКИ В65Д 41/48. /А.Ф.Котельников, Г.Д.Маламен, Ю.Г.Смирнов, В.В.Шестых, В.И.Бовтенко (СССР). - № 4939853/13; Заявлено 12.05.91; Опубл. 07.04.93, Бюл. №13.

Депоновані і анотовані статті

30. Маламен Г.Д., Котельников А.Ф., Юзюк В.С. Экспериментальное исследование механических характеристик пластмассовых ящиков для пищевых продуктов. Ред. журн. "Изв. вузов. Пищевая технология". - Краснодар, 1989. - 11 с.. -Библиограф. 2 наз. Деп. в АгронииТЭПищепром.
31. Маламен Г.Д., Афанасьев Р.В. Статическая и длительная прочность ящиков для пищевых продуктов. Ред. журн. "Изв. вузов. Пищевая технология". - Краснодар, 1989. - 18 с.. -Библиограф. 3 наз. Деп. в АгронииТЭПищепром.
32. Сергеев С.Т., Дащенко А.Ф., Маламен Г.Д. и др. Особенности деформирования полых балок заполненных жидкостью под давлением. Деп. в УкрНИИНТИ. -Киев, 1987. - № 1768, уп. 85. - 5 с.
33. Маламен Г.Д., Химич В.Ф. Уравнения Киргхофа для криволинейных стержней навитых на базисный некруглый цилиндр. Деп. Черметинформация. - М., 1979. - № 6. - С. 77.

Тези доповідей

33. Маламен Г.Д., Котельников А.Ф., Ватренко О.В. Розробка гнучкої переналагоджуваної технології укупорки скляних банок /Тез. доп. міжнародної наук.-техн. конф. "Розробка та впровадження нових технологій та обладнання у харчову та переробну галузі АПК". - К.,1993. - С. 491-492.
34. Маламен Г.Д. Вероятностный расчёт стоек пластмассовых ящиков //Тез. докл. 53 научной конференции института. - Одесса: ОТИПП, 1993. - С. 158.
35. Маламен Г.Д. Влияние условий эксплуатации пластмассовой тары на её длительную прочность. //Тез. докл. XVII конф. стран СНГ, "Дисперсные системы". - Одесса: ОГУ, 1996. - С. 127-128.
36. Маламен Г.Д. К вопросу о конструировании пластмассовой тары для транспортирования и хранения пищевых продуктов. //Тез. докл. 56 научной конф. академии. - Одесса: ОГАПТ. - 1996. - С. 136.
37. Маламен Г.Д. Особенности конструирования тары для плодов и овощей. //Тез. докл. IX Міжнародної конф. "Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв". - Одеса: ОДАХТ, 1996. - Ч. 1. - С. 48.
38. Маламен Г.Д., Котельников А.Ф., Хальфала И. Экспериментальные исследования устойчивости металлических банок //Тез. докл. 52-й юбилейной научной конференции института. - Одесса: ОТИПП, 1992. - С. 197.

39. Маламен Г.Д., Хальфала И. Влияние механических колебаний несущей платформы на статическую и длительную прочность транспортной тары. //Тез. докл. 53 научной конференции института. - Одесса: ОТИПП, 1993. - С. 197.

АНОТАЦІЇ

Маламен Г.Д. Наукове обґрунтування і розробка оптимальних конструкцій тари для пакування харчових продуктів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. Одеська національна академія харчових технологій. – Одеса, 2002.

Визначені оптимальні геометричні розміри тари при мінімальних витратах пакувального матеріалу. З урахуванням конкурентноздатності упакованої продукції отримані залежності для визначення співвідношення ціни тари і продукції. Розроблено алгоритм розкрою листового матеріалу для тари. Отримано показник оптимальності матеріалоємності тари при заданому терміні роботи тари.

Встановлено основні вимоги до конструкції багатообігової транспортної пластмасової тари, що забезпечують незмінну якість споживчих властивостей харчових продуктів на розрахунковий термін зберігання. Визначені фізико-механічні властивості матеріалу для тари різного призначення та основні параметри її статичної і динамічної міцності. Складено математичні моделі тари для дослідження напружено-деформованого стану конструктивних елементів. Запропоновано рекомендації по оптимальному проектуванню конструктивних елементів багатообігової пластмасової транспортної тари.

Побудовано кінетичну діаграму втомного руйнування тарного поліетилену. Визначено остаточний ресурс роботи тари за наявності початкової тріщини, котрий дорівнює від одного до трьох місяців. Промислова апробація підтвердила економічну ефективність результатів роботи.

Ключові слова: тара, ящик, конструктивний елемент, харчовий продукт, поліетилен, міцність, довговічність, жорсткість.

Маламен Г.Д. Научное обоснование и разработка оптимальных конструкций тары для упаковки пищевых продуктов. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. Одесская национальная академия пищевых технологий. – Одесса, 2002.

Решена актуальная по научному обоснованию и разработке оптимальных конструкций пластмассовой тары и упаковки для хранения и транспортировки пищевых продуктов, позволяющей сохранить потребительские свойства продукции при хранении и транспортировке, а также обеспечить необходимые прочностные характеристики тары при гарантированном сроке её службы.

Определены геометрические размеры тары при минимальных затратах упаковочного материала. С учётом конкурентоспособности упакованной продукции получены зависимости для определения соотношения стоимости тары и продукции. Разработан алгоритм раскроя листового материала для тары. Получен показатель оптимальной материалоёмкости тары при заданном сроке её работы.

Определены: оборачиваемость тары, типичные разрушения по пяти конструктивным элементам. Установлено процентное соотношение разрушения различных элементов

тары: а) планок верхнего пояса - 30 %; б) стоек в средней части -30 %; в) верхних планок по середине ящика - 30 %; г) нижнего пояса - 5 %; д) днища - 5 %.

Характер поломок - хрупкое и усталостное разрушение. Показано, что для сохранения плодов и овощей в свежем виде на расчетный срок хранения необходимо обеспечить вентилирование продукта внутри ящика, между ящиками в стопе и между штабелями. Минимальное расстояние между ящиками в стопе определяется высотой засыпки и размерами плодоовощной продукции.

С учётом внешних нагрузок получены расчётные зависимости для определения нагрузок на конструктивные элементы тары и для анализа напряжённо-деформированного состояния. Разработаны математические модели тары, необходимые для определения размеров основных несущих элементов с учётом флуктационных свойств полиэтилена. Адекватность математических моделей существующим конструкциям тары экспериментально подтверждена.

Определены коэффициенты динамического воздействия при расчёте статической ($y = 1,6...2,0$) и длительной прочности пластмассовых транспортных ящиков. Установлено, что при частоте колебания несущей платформы до 3 Гц статическая и длительная прочность совпадают. Изменение физико-механических свойств ПЭНД (в особенности уменьшения относительного удлинения во время эксплуатации) значительно уменьшают срок службы тары. Использование добавок против старения полиэтилена обязательно.

С целью увеличения прочности и долговечности верхний пояс и боковые стенки тары следует выполнять гофрированными с трапецеидальной формой гофра. Соотношение шага гофра p к высоте t $p/t = 2,3...4,5$, угол наклона боковой грани гофра $10^\circ...25^\circ$. Из условия равноустойчивости соотношение высот нижней и верхней частей стоек ящиков для бутылок следует выбирать в пределах 1,45...1,55. Для уменьшения высоты верхней части стойки днище ящика выполнять с отверстиями соосными с осями бутылок вышестоящего ящика или при необходимости днище ящика закреплять на высоте $(0,15...0,25)H$ от нижней части стойки. Предложены конструкции устройств для образования свободностоящей стопы выполнять в виде конических или призматических клиньев или других устройств, исключая эксцентричное приложение силы от стенки или стойки к несущей платформе.

Расчётами показано, что величина напряжений от действия горизонтальных сил составляет в зависимости от конструкции ящика 25 %...30 % от рабочих напряжений.

Наиболее эффективным способом блокирования сдвиговых деформаций от горизонтальных сил является введение в конструкцию боковых стенок раскосов, преобразующих рамную конструкцию боковых стенок в форменную.

Увеличение массы основных несущих элементов ящика (верхнего пояса и стоек) на 50 % приводит к увеличению его первоначальной стоимости ящика на 30%. При этом расчётный срок службы ящика увеличивается более чем в 1,5 раза, что в конечном счёте сокращает эксплуатационные расходы на 30 %.

Оптимальными конструкциями крупной консервной, тары служащей так же и транспортной, являются: банка №14, снабженная десятью зигами глубиной не менее 1,2 мм в виде группы зигов 5 + 5; банка № 15 должна иметь не менее тринадцати зигов в виде группы зигов 3 + 6 + 3 и глубиной (1,2...1,4) мм.

Построена кинетическая диаграмма усталостного разрушения тарного полиэтилена низкого давления и высокой прочности. Определён остаточный ресурс долговечности пластмассовой тары после появления усталостной трещины, которая составляет от одного до трёх месяцев.

Результаты диссертационной работы использованы при расчете и конструировании

различных типов тары, в том числе при разработке конструкций курпной консервной тары и ящиков: для плодов и овощей, для дрожжей и бутылок с пищевыми жидкостями.

Ключевые слова: тара, ящик, конструктивный элемент, пищевой продукт, полиэтилен, прочность, долговечность, жёсткость.

Malamen G.D. The scientific substantiation and development of optimum designs of transport container for pack foodstuffs. - Manuscript.

Thesis for obtaining the Doctor's degree of technical science by specialty 05.18.12 - processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical manufactures. Odessa National Academy Food of Technologies. - Odessa, 2002.

The optimum geometrical sizes of container with the minimal expenses of a packing material have been determined.

With the packed products competitiveness taken into account, the dependence for defining the correlation of packing material and product cost were identified. The algorithm of cutting the laminated material for container was worked up. The optimality indicator of container material consumption was received with the given term of work of container.

The basic requirements to the design of multiturn transport plastic container were established. They provide the permanent quality of consumer properties of foodstuff for the defined storage time.

Physico-mechanical material properties for container of various destination and the basic parameters for defining its static and dynamic durability were determined. The mathematical models of container for research of the strained-deformed condition of constructive elements were made.

The recommendations for optimum designing of constructive elements of multiturn plastic transport container were offered.

The kinetic diagram of tedious destruction of tare polythene was constructed. The terminal resource of container work was determined by the presence of basic crack that is equal from one up to three months. The industrial approbation has confirmed an economic efficiency of results of work.

Key words: container, box, constructive element, foodstuff, polythene, durability, endurance, hardness.