

Автор-
Х-14

1

Одесская государственная академия пищевых технологий

На правах рукописи

ХАЛЬФАЛИА ИСМАИЛ

**Разработка и обоснование рациональной
конструкции металлической консервной тары**

Специальность 05.18.12 - процессы и аппараты пищевых производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание научной степени кандидата
технических наук

Одесса - 1996

он

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Одесской государственной академии пищевых технологий на кафедре ТОПШ

- Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
А.Ф.Котельников
- Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Н.В.Остапчук
кандидат технических наук,
А.П.Ольшевский
- Ведущая организация - ГНПО "Консервпромкомплекс"
(г.Одесса)

Защита состоится "30" мая 1996 г. в 15⁰⁰ час. на заседании специализированного ученого совета Д 05.16.01 при Одесской государственной академии пищевых технологий по адресу : 270039, г.Одесса, ул. Канатная, 112 (ауд. А-234)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесской государственной академии пищевых технологий.

Автореферат разослан "29" мая 1996 г.

Ученый секретарь специализированного
совета д.т.н., профессор

Б.В.Егоров

ОНАХТ 24.05.12
Разработка и обоснов



v017211

№ 17211
ОДАХТ
Библиотека

Общая характеристика работы

Актуальность работы. В республике Судан производство томатных продуктов и джемов является ведущей отраслью консервирования сельскохозяйственной продукции. Благоприятные климатические условия способствуют широкому распространению томатов как сельскохозяйственной культуры. Их выращивается около 250000 тонн в год, из которых промышленностью перерабатывается меньше половины. Кроме томатов используют цитрусовые, манго и другие плодовые культуры.

По существующему способу консервирования томатной пасты в Судане продукт фасуют в банки 24 и 46 с последующей стерилизацией и охлаждением в автоклавах, где банки испытывают наружное избыточное давление. Целесообразно организовать промышленное производство в банках 13 и 14 для наращивания объемов выпуска томатной пасты на тех же площадях. Это снизит трудовые затраты и расходы на импорт жести, а также улучшит обслуживание потребителей.

В промышленности Судана металлические банки производят в жестянобаночных цехах консервных заводов на оборудовании Симферопольского завода "Продмаш". Если учесть, что Судан белую жести импортирует, то выпуск жестяных банок из жести пониженных толщин (0,16...0,20 мм) имеет экономическую целесообразность. Однако, из-за недостаточности данных по вопросам изготовления и применения консервных банок из жести пониженных толщин, обеспечивающих минимальные потери жести и готовой продукции при нормативных показателях качества, разработка устойчивой и надежной банки приобретает научно-техническую значимость и актуальность.

Цель и задачи работы. Целью исследования является научное обоснование и разработка параметров металлических консервных банок из тонкой жести, которые обеспечивали бы устойчивость банкам в процессе стерилизации, охлаждения, хранения и транспортировании.

В соответствии с этим поставлены задачи:

- обобщить схемы нагружения конструктивных частей металлических консервных банок 13, 14 и 46 применительно к условиям процесса стерилизации в современных аппаратах;
- определить фактические нагрузки, действующие на металлические банки, на всех этапах технологического процесса производства консервов;
- установить поведение банок с точки зрения теории устойчивости оболочек с учетом различных способов нагружения соответствующих производственным условиям;
- определить напряженно-деформированное состояние (НДС) банки и разработать алгоритм расчета несущей способности банок;
- обосновать конструкцию металлической тары в связи с уменьшением толщины жести и провести ее промышленные испытания;
- выдать рекомендации по разработке и изготовлению конструкции консервной банки из жести пониженных толщин.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые применительно к металлической таре из тонкой жести установлены геометрические и технологические параметры и НДС банки как тонкостенного аппарата; в составлении математической модели оптимизации конструкции банки и подтверждении ее адекватности экспериментально.

Практическая значимость заключается в разработке рекомендаций промышленности по изготовлению и использованию новой конструкции жестяной тары повышенной жесткости и пониженной металлоемкости в современных условиях консервного производства.

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы внедрены на Одесских и Каменском консервных заводах, а также могут быть внедрены на консервных предприятиях Республики Судан.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывали на 52, 53, 54 отчетных научных конференциях ОТИШ

им. М.В.Ломоносова в 1992-1994 гг.; на 55 и 56 научных конференциях ОГАПТ, г.Одесса.

На защиту выносятся научные положения, полученные лично автором:

- новые данные о НДС консервных банок в процессе стерилизации как тонкостенных аппаратов, находящихся под сложным нагружением;
- рекомендации по снижению металлоемкости конструкции консервной банки из белой жести в условиях консервного производства в Республике Судан.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в семи работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и рекомендаций, списка литературных источников и приложений. Работа изложена на 100 страницах машинописного текста, содержит 19 таблиц, 46 рисунков и 13 приложений. Список литературы включает 165 источников, из них 29 иностранных.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы и сформулированы цель и задачи работы.

В первой главе рассмотрены характеристики и свойства белой жести как тарного материала, их влияние на процессы изготовления консервных банок. Проведен анализ конструкций металлической консервной тары и современных способов ее изготовления.

Анализ литературных источников показал отличие различных способов изготовления банок по капиталовложениям, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Индекс стоимости изготовления банок

Технология изготовления банки	Стоимость жести и лака, %	Общая стоимость производства, %
Сваркой (Soudronic)	100	100
Пайкой	102	101
Способ DID	78	87
Способ DRD	111	110

Анализ данных показывает, что технология DID является наилучшей, а DRD - дорогостоящей даже при оптимальном соотношении высоты к диаметру банки 1:1. Преимущество технологии DID по стоимости материала незначительно влияет на общую стоимость производства. Это связано с затратами на капиталовложения, к которым относятся выплаты за ссуду, за кредиты и отчисления на амортизацию.

Учитывая сравнительно небольшой объем консервного производства в Республике Судан целесообразно производить сборные банки по первым двум технологиям постепенно переходя к методу сварки.

Анализ литературных источников позволил установить основные пути экономии затрат, снижение толщины жести и повышение коэффициента ее использования.

Во второй главе приведены теоретическое обоснование повышения устойчивости банок при стерилизации и хранении. Задача прочности и устойчивости банок при минимизации их металлоемкости рассматривалась с позиций нелинейной теории оболочек, поскольку банки имеют геометрические параметры, описываемые соотношением $0,008 > S/R > 0,0023$ и относятся к тонкостенным оболочкам средней длины $0,3 \sqrt{R/S} > L/R > \sqrt{S/R}$ (L - длина, S - толщина, R - радиус).

При разработке проблемы нами изучались нагрузки, действующие на банки с момента их изготовления и до реализации консервов. Анализ нагрузок позволил обобщить их действие и представить 9-ю схемами нагружения банок: 1 - двухстороннее осевое сжатие при отбортовке; 2-формирование зигов (нетипичное); 3- осевое сжатие и кручение корпуса при закатывании; 4- осевое сжатие и наружное давление при фасовке продукта в банки под вакуумом; 5 - внутреннее избыточное давление при стерилизации (I, II фазы процесса); 6-всестороннее сжатие наружным избыточным давлением (III фаза процесса стерилизации); 7 - всестороннее сжатие (в банке вакуум) и случайные удары при межоперационном транспортировании; 8 - воздействие осевой силы штабеля и наружного давления (вакуум в банке), импульс силы при установке верхнего пакета; 9 - одновременное воздействие статических (силы штабеля и наружного давления) и динамических нагрузок при наезде транспортного средства на препятствие.

В прочностных расчетах банку рассматривали как односвязную так и многосвязную оболочку. Для практики наибольший интерес представляют схемы 4, 8 и 9 - как экстремальные. Напряженное состояние банки считаем плоским. Из решения Лоренца-Тимошенко следует, что начальное безмоментное напряженное состояние идеально правильной упругой цилиндрической оболочки при граничных условиях на ее концах равных $W=0, M_x=0, V=0, T_x=0$ становится неустойчивым тогда, когда осевое сжимающее напряжение превысит критическое значение $\sigma_{кр}$

$$\sigma_{кр} = \frac{E \cdot S}{\sqrt{3(1-\mu^2)} R^2}, \text{ [МПа]} \quad (1)$$

Суммарную критическую сжимающую силу в осевом направлении оболочки можно определить с учетом (1) по следующему выражению:

$$N_{крс} = \sigma_{кр} 2\pi R S = 2\pi E S^2 / \sqrt{(1-\mu^2)} 3, \text{ [Н]} \quad (2)$$

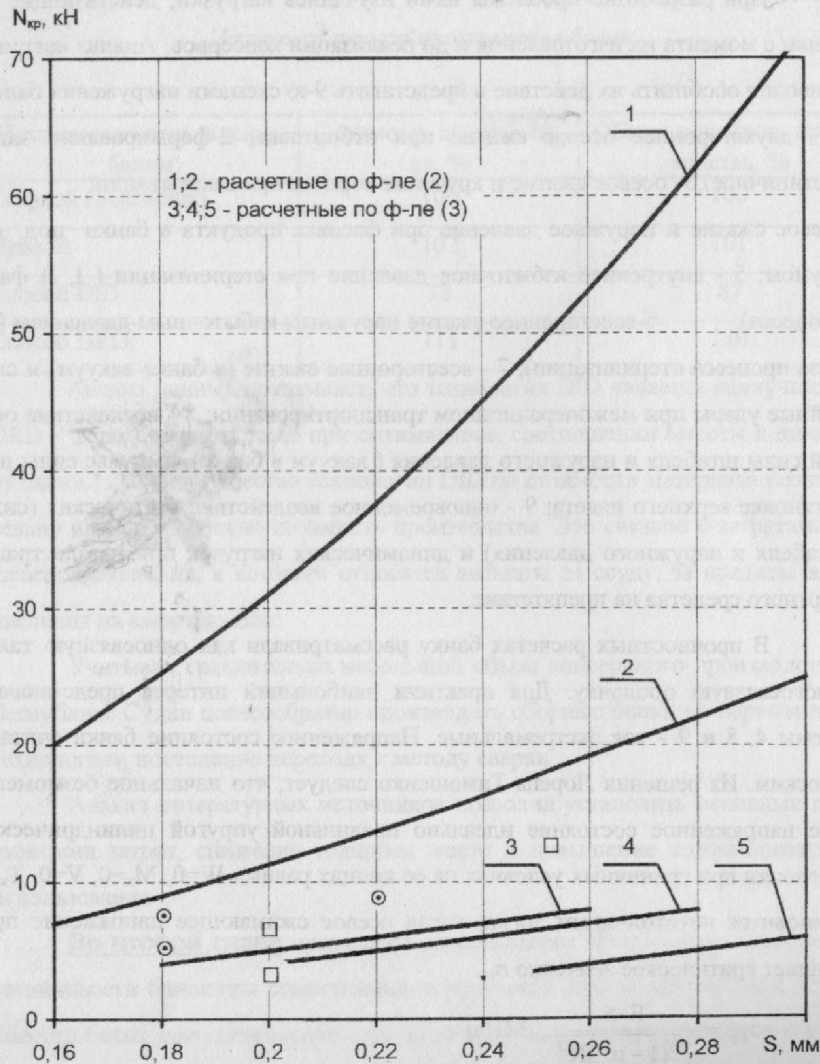


Рис. 1. Зависимость осевой критической силы от толщины металла стенки корпуса банки
1;3;4 - жель, $\mu=0,30$;
2;5 - алюминий, $\mu=0,34$.
точками помечены экспериментальные значения $N_{кр}$, \odot -Ø72,8
 \square -Ø99.

Из формулы (2) следует, что критическая сжимающая сила зависит от квадрата толщины оболочки и упругих свойств ее материала - модуля упругости E и коэффициента Пуассона μ .

Консервные банки являются тонкостенными цилиндрическими оболочками несовершенной формы с параметрами $0,0023 < S/R < 0,008$. Неправильности их геометрической формы зависят от условий производства, механических свойств жести и соотношения S/R . Во избежание вмятин на поверхности корпусов банок от соударения при транспортировании их в процессе изготовления используют магнитные транспортеры для жестяных банок и пневматические - для алюминиевых.

Расчеты критической силы по формуле (2) дают завышенные значения по сравнению с экспериментальными в 3...4 раза, что подтверждается графиками на рис. 1.

Для учета несовершенства формы оболочки ввели поправочный коэффициент α_p в формулу (2), которая теперь имеет вид:

$$N_{кр} = 2\pi\alpha_p ES^2 / \sqrt{3(1-\mu^2)}, [H] \quad (3)$$

Если значение коэффициента α_p принять $\alpha_p=0,219$, то результаты расчетов по формуле (3) расходятся с экспериментальными на 25%, причем в меньшую сторону, что позволяет рассчитать критическую силу $N_{кр}$ с коэффициентом запаса в 1,25.

Устойчивость банки от всестороннего сжатия, как оболочки нагруженной по шестой схеме, оценивали по формуле П.Ф.Папковича:

$$P_{кр} = \left(\pi\sqrt{6} / \left(9\sqrt{(1-\mu^2)^3} \right) \right) \cdot E \cdot (R/L) \left(\sqrt{(S/R)^5} \right), [MPa] \quad (4)$$

Эта формула справедлива для идеальной неподкрепленной оболочки и, как показали расчеты, дает завышенные результаты в определении наружного избыточного критического давления $P_{кр}$. Для нашего случая при использовании формулы (4) в расчетах корпусов банок внесена поправка на несовершенство их формы (овальность, вмятины).

Большей частью банки испытывают комбинированное нагружение по схемам 8 и 9. В таком случае условие устойчивости запишется:

$$N/N_{кр} + P/P_{кр}^n = 1 \quad (5)$$

и для подкрепленных оболочек можно определить значение критического давления по формуле:

$$P_{кр}^n = \left(\pi \sqrt{6} / \left(9 \sqrt{(1 - \mu^2)^3} \right) \right) (n + 1) \cdot E \cdot \left(S^2 / (RL\alpha) \right) \left(\sqrt{S/R} \right), [\text{МПа}] \quad (6)$$

Используя формулы (3), (5) и (6) мы рассчитали на ЭВМ геометрические параметры банок из тонкой жести для применяемых в Судане типоразмеров. Результаты расчетов проверяли экспериментально.

Система дифференциальных уравнений равновесия, описывающих поведение каждого оболочечного элемента имеет вид:

$$1/A_1 \cdot dy/d\alpha_1 = f(\alpha_1, \bar{n}, \lambda, y) \quad (7)$$

где A_1 - коэффициент Ляме, α_1 - меридиональная координата, λ - параметр внешней нагрузки, \bar{n} - порядок системы; $Y = \begin{Bmatrix} y_+ \\ y_- \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} N \\ W \end{Bmatrix}$, $y_+ = N$ - вектор внутренних обобщенных силовых факторов, приведенных к поверхности оболочечного элемента, $y_- = W$ - вектор обобщенных перемещений этой поверхности.

Гофрированные части банок разбивали на составные элементы, цилиндрические, конические, тороидальные оболочки и пластинки. Корпус и концы банки связаны кольцевыми шпангоутами (закаточными швами) прямоугольного сечения, образуя многосвязную оболочку.

Для проведения расчетов по описанной схеме необходимо иметь геометрические параметры конструкции и величины силовых нагрузок, действующих на банки.

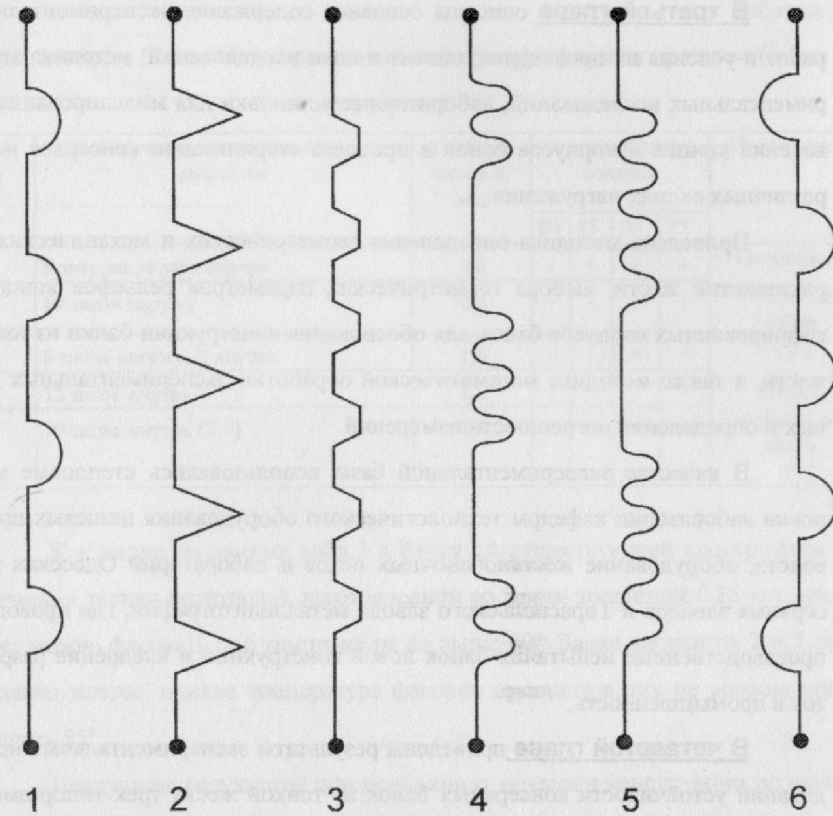


Рис. 2 Различные варианты профилей зигов (круглой, треугольной и трапециевидной формы)

1, 2 - равномерное распределение, 3 - сплошные мелкие, 4 - групповые по схеме $n - m - n$, 5 - групповые по схеме $n - n$, 6 - равномерно распределенные выпуклостью внутрь и наружу.

В третьей главе описаны основное содержание экспериментальных работ и условия их проведения, объект и план исследований, методика экспериментальных исследований, лабораторные установки для моделирования поведения концов и корпусов банок в процессе стерилизации консервов и при различных схемах нагружения.

Приведена методика определения геометрических и механических характеристик жести, выбора геометрических параметров рельефов концов и гофрированных корпусов банок для обоснования конструкции банки из тонкой жести, а также методика математической обработки экспериментальных данных и определения погрешности измерений.

В качестве экспериментальной базы использовались стендовые установки лаборатории кафедры технологического оборудования пищевых производств, оборудование жестянобаночных цехов и лабораторий Одесских консервных заводов и Тираспольского завода металлолитографии, где проводили производственные испытания банок новой конструкции и внедрение разработок в промышленность.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований устойчивости консервных банок из тонкой жести трех типоразмеров при различных схемах нагружения на всех операциях технологического процесса производства тары и консервов в ней.

Исследование НДС элементов банок позволило сконструировать и изготовить несколько вариантов банок с профилями зигов рис.2. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл.2 для некоторых конструктивных вариантов банок 14 с круглыми зигами.

Таблица 2

Устойчивость банки 14 при различной температуре фасовки продукта (схема нагружения - 6)

Вариант	Количество зигов, направление выпуклости	Глубина зигов h, мм	Температура фасования				Примечание
			80	85	90	95	
1.	Контроль, 4 зига внутрь	0,8	-	+	+	+	Отсутствие вакуум деформ " - "
2.	10 зигов наружу	0,8	-	-	+	+	
3.	8 зигов наружу, 2 внутрь	1,0	-	-	+	+	
4.	12 зигов внутрь	1,2	-	-	-	-	Налич. вакуум деформ "+"
5.	10 зигов внутрь (5-5)	1,4	-	-	-	-	

Как видно из данных табл.2 в банку 14 существующей конструкции с четырьмя зигами (контроль), изготовленной из жести толщиной 0,25 мм, продукт можно фасовать при температуре не выше 80°. Банки вариантов 2 и 3 несколько жестче, однако температура фасовки продукта в них не должна превышать 85°.

Наилучшие результаты при испытаниях показали конструкции по вариантам 4 и 5, которые значительно жестче первых трех и позволяют использовать для их изготовления жесь толщиной 0,22 мм (на номер меньше, чем предусмотрено стандартом). При этом продукт можно фасовать при температуре до 97° без опасения потери устойчивости банки.

Кроме того, в лабораторных условиях на стенде моделировали сложное нагружение банок по схемам 4, 8 и 9. При этом варьировались глубина зигов, количество и их расположение. В таблице 3 представлены результаты испытаний по которым преимущество банок 4-го и 5-го вариантов подтверждается.

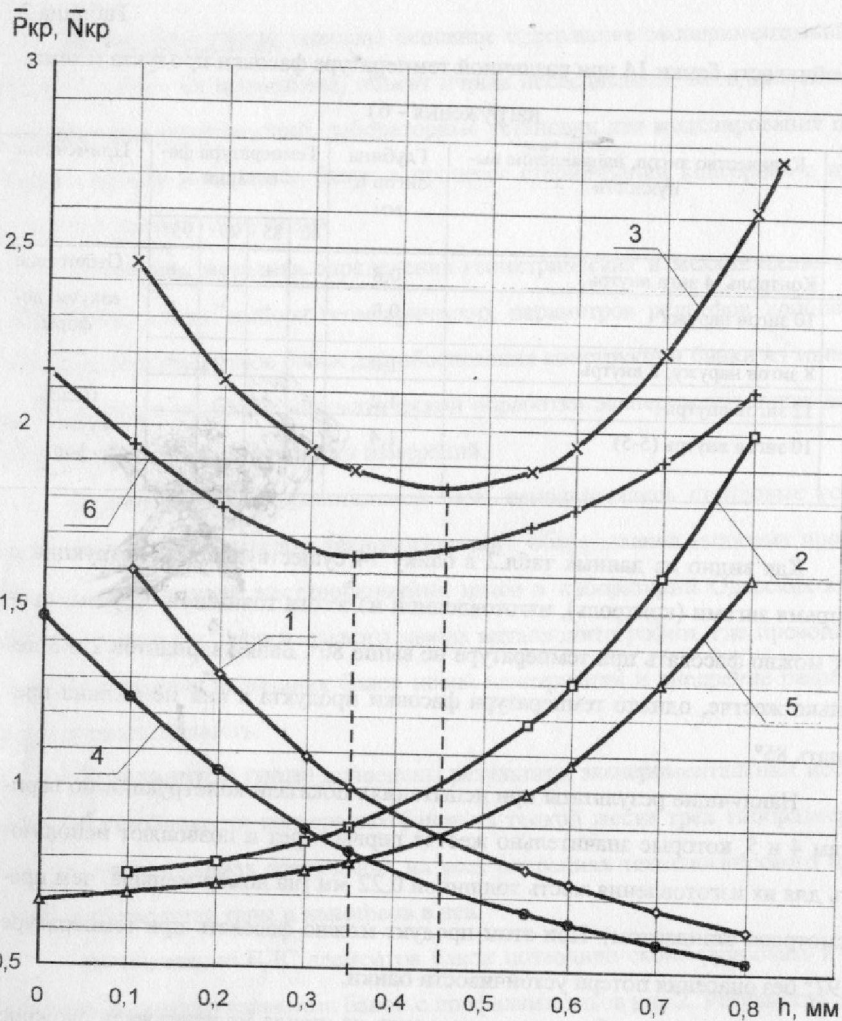


Рис. 3 Зависимость безразмерных $\bar{P}_{кр}$ и $\bar{N}_{кр}$ от глубины зигов h для банок 13 из жести разной толщины; 1, 4 - зависимость $\bar{P}_{кр}$ от h при $S=0,18$ и $S=0,20$ мм, соответственно; 2, 5 - зависимость $\bar{N}_{кр}$ от h для тех же толщин; 3, 6 - параметры оптимизации для тех же толщин.

Таблица 3

Испытание банок 14 на устойчивость при сложном нагружении (по схеме - 8)

Вариант -	Толщ. жести, S , мм	Характеристика зигов			Осевая сила, N , кН	Наружн. давлен. P , кПа	Примечание
		Кол-во	Глуб., мм	Шаг, мм			
4	0,25	12	0,5	10	2,39	67,0	Не устойчива
4	0,25	12	1,30	10	3,33	67,0	Устойчива
4	0,25	12	1,60	10	3,58	67,0	Уст., осела
5	0,23	5-5	1,48	10	3,21	68,0	Устойчива
6	0,24	2-2-2	0,90	10,5/53	0,56	67,0	Не устойчива
6	0,26	2-2-2	1,35	10,5/53	2,87	67,0	Не устойчива
6	0,28	2-2-2	1,10	10,5/53	4,39	68,0	Не устойчива

При глубине зигов $h > 1,5$ мм устойчивость банок воздействию наружного давления возрастает, но увеличивается податливость корпуса в осевом направлении. Банка ведет себя подобно сифону. При осевой нагрузке в 3,21 кН и наружном давлении 68,0 кПа высота банки уменьшается на 2,43 мм. После разгрузки имеют место остаточные деформации корпуса в виде уменьшения высоты банки на 1,78 мм. Это свидетельствует об упруго-пластическом напряженно-деформированном состоянии стенки корпуса банки.

Упругие деформации корпуса банки (вариант 5) возникает при воздействии осевой силы в 1,68 кН и наружного давления 68,0 кПа, так как при разгрузке остаточные деформации в осевом направлении не превышают 0,00023 ед. при уменьшении высоты корпуса на 0,04 мм.

При дальнейшем нагружении появляются значительные остаточные деформации, о чем указывалось выше.

Банки 6-го варианта при сложном нагружении (таблица 3) во всех случаях не устойчивы. Хлопок наступал при деформации вдоль оси банки $U=0,00179...0,00243$ ед., т.е. при уменьшении высоты корпуса на 0,3...0,4 мм. Причем корпус банки терял устойчивость даже при глубине зига равной 1,35 мм. Это свидетельствует о том, что отношении величины подкрепленной по-

верхности корпуса к неподкрепленной меньше 1 и составляет величину 0,48 при относительной глубине зига $h/R=0,00882$.

Банки диаметром 50...100 мм относятся к мелкой таре. Наиболее представительны в этой размерной группе - банки 13 (внутренний диаметр - 99 мм, высота - 124 мм). Исследовали образцы банок с групповыми и сплошными мелкими зигами, варианты профилей которых представлены на рис.2. Банки изготавливали из жести толщин 0,18; 0,20 и 0,22 мм при твердости 54...62 ед. HR30T. Контрольные банки всех диаметров зигов не имели.

Как показали эксперименты - банки 13 контрольные и с мелкими ($h/R=0,002$) частыми зигами в диапазоне действующих на них нагрузок теряют устойчивость. Банки с глубокими ($h/R=0,008...0,02$) тороидальными групповыми зигами удовлетворяют условиям устойчивости. Поэтому с целью оптимизации глубины зигов исследовались банки 13 из жести ЭЖК-В ($\sigma_T=375$ МПа) с зигами по схеме 3-4-3 постоянного шага в группе 1-6 мм. Толщина жести S варьировалась в пределах от 0,17 до 0,23 мм, глубина зигов $h=0,2...0,8$ мм.

После обработки экспериментальных данных в безразмерных параметрах критического давления и осевой силы штабелирования для банки 13 рекомендуемой конструкции графическим способом (рис.3) проведена оптимизация глубины зига. Критерием оптимальности служило наименьшее значение суммы безразмерных критических параметров - наружного избыточного давления и осевого усилия штабеля.

Как видно из рис.3, каждой толщине стенки корпуса банки требуется своя толщина зига. Например, для банки 13, изготовленной из жести ЭЖК-В - 0,18 мм оптимальная глубина групповых (3-4-3) зигов $h=0,45$ мм. Такие банки удовлетворяют условию устойчивости и могут быть рекомендованы промышленности для внедрения.

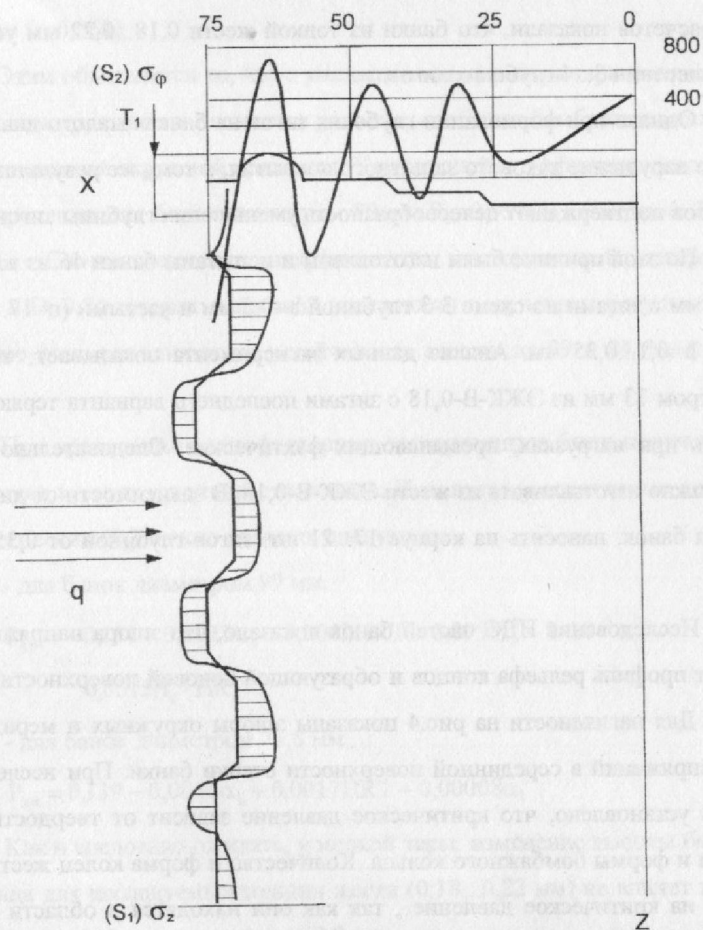
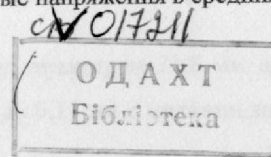


Рис. 4 Эпюры напряжения в стенке корпуса и конца банки
 σ_ϕ - окружные напряжения в срединной поверхности конца;
 σ_z - меридиональные напряжения в срединной поверхности корпуса банки.



Исследовали банки диаметром 73 и высотой 110...130 мм. По условию задачи, решенной в гл.2, глубина зигов принималась равной радиусу. Результаты расчетов показали, что банки из тонкой жести 0,18...0,22 мм устойчивы при нанесении 3...4 глубоких зигов.

Однако при формировании глубоких зигов на банках малого диаметра замечено нарушение лакового защитного покрытия, к тому же результаты экспериментов подтверждают целесообразность уменьшения глубины зигов.

По этой причине были изготовлены и испытаны банки 46 из жести 0,18 и 0,20 мм с зигами по схеме 3-3 глубиной $h=0,5$ мм и частыми ($n=17...21$) глубиной $h=0,1...0,35$ мм. Анализ данных эксперимента показывает, что банки диаметром 73 мм из ЭЖК-В-0,18 с зигами последнего варианта теряют устойчивость при нагрузках, превышающих фактические. Следовательно мелкую тару можно изготавливать из жести ЭЖК-В-0,18. В зависимости от диаметра и высоты банок, наносить на корпус 17...21 шт. зигов глубиной от 0,35 до 0,10 мм.

Исследование НДС частей банок показало, что эпюра напряжений повторяет профиль рельефа концов и образующей боковой поверхности корпуса банки. Для наглядности на рис.4 показаны эпюры окружных и меридиональных напряжений в срединной поверхности стенки банки. При исследовании концов установлено, что критическое давление зависит от твердости жести, высоты и формы бомбажного кольца. Количество и форма колец жесткости не влияет на критическое давление, так как они находятся в области растягивающих напряжений. Установлены три фактора, которые влияют на критическое давление - искомую функцию. Для банок 13 наибольшее влияние на функцию оказывает твердость жести (коэффициент корреляции $r=0,884$) и высота бомбажного кольца ($r=0,430$). Форма бомбажного кольца влияет меньше ($r=0,164$).

Для тары диаметров < 73 мм влияние твердости жести снижается ($r=0,875$), а высота бомбажного кольца несущественно влияет на критическое давление ($r=0,061$).

Этим объясняется то, что с уменьшением диаметра тары возрастает жесткость конструктивных элементов рельефа, особенно бомбажного кольца, из-за увеличения их окружной кривизны. Уточненный коэффициент множественной корреляции для банок диаметром 99 мм $R_k=0,997$, а диаметром 72,8 мм - $R_k=0,917$. Соответствующие коэффициенты множественной детерминации $D=0,99$ и $D=0,84$ говорят о высокой надежности полученных результатов, т.е. учтенные факторы влияют на устойчивость концов на 99 и 84 %, соответственно.

При проведении многофакторных экспериментов были получены математические модели устойчивости концов. Используя рассчитанные коэффициенты регрессии (B_j) можно записать следующее:

- для банок диаметром 99 мм

$$P_{кр} = -0,154 + 0,0015\alpha_1 + 0,0042HRT + 0,099H_1^2 - 2 \cdot 10^{-5}\alpha_1^2 - 0,0015H_1 \cdot HRT \quad (8)$$

- для банок диаметром 72,8 мм

$$P_{кр} = 0,139 - 0,0046\alpha_1 + 0,0017HRT + 0,00008\alpha_1^2 \quad (9)$$

Как и следовало ожидать, у мелкой тары, изменение высоты бомбажного кольца для исследуемых толщин жести (0,18...0,22 мм) не влияет на устойчивость концов банок диаметром 72,8 мм.

Очевидно, что с увеличением твердости жести устойчивость концов различных диаметров резко возрастает по линейному закону. Увеличение высоты бомбажного кольца также приводит к повышению устойчивости, однако функция нелинейна.

Корпуса банок диаметром 72,8 мм должны изготавливаться из жести ЭЖК-В толщиной S до 0,17 мм с мелкими зигами глубиной h до 0,35 мм в ко-

количестве $n=17...21$ шт., а концы с "волнообразным" рельефом из жести толщиной 0,20 или 0,22 мм степени твердости С или В, соответственно.

В пятой главе представлены результаты разработки консервной банки повышенной устойчивости и промышленные испытания разработанных конструкций с учетом механических свойств жести. Проведена оценка экономической эффективности результатов исследований и разработок.

Анализ результатов испытаний партий жести на разрыв показал, что жесь всех производителей имеет площадку текучести. Это обстоятельство указывает на старение жести в процессе ее транспортирования и хранения жесь производства ММК и КАРМЕК имеет ярко выраженный "зуб" на диаграмме растяжения при переходе от упругой к пластической деформации образца. Жесь производства фирм Германии и Голландии, как правило, "зуба" не имеет.

Методом ортогональной прогонки на ЭВМ была решена задача о НДС стенки корпуса банки при нагрузках не превышающих: по давлению - 0,06 МПа и осевой силе - 1000 Н.

Для проверки влияния геометрических параметров конструктивных элементов зигов на НДС банок при комбинированном нагружении - (схема 8) и обоснования конструкции зигов был проведен машинный эксперимент.

Определяли обобщенные напряжения и деформации корпуса банки как однослойной тонкостенной оболочки, описываемой системой (7) при граничных условиях:

$$Y_-(0) = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}; Y_+(L) = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}; Y_-(0) = U_0^*; Y_+(L) = U_L^*$$

Исследовали шесть конструктивных вариантов зигов, при этом задавались относительной точностью решения - 0,001 при максимальном числе приближений - 10. В результате расчетов получены все компоненты напряженно-деформированного состояния каждого оболочечного элемента конструкции с точностью, превышающей заданную уже на третьем числе приближений.

Результаты экспериментальных исследований позволили обосновать требуемые свойства и толщину жести для корпуса и концов банок. Например, по варианту 5 для банки 14 (см. табл.3) нами был сконструирован и изготовлен комплект формирующего инструмента для зигочной машины KEZ.100.1 фирмы "BLEMA", который прошел промышленные испытания. При этом для корпуса используют жесь ЭЖК-В-0,22 с нанесением зигов глубиной в пределах $1,3 < h < 1,5$, а для концов толщиной 0,24 мм при условии изготовления "обратного рельефа" для продукции, фасуемой под вакуумом или при высокой начальной температуре.

Ожидаемая экономия при внедрении разработки на 1 млн. банок составит при закупке жести: для банок 14 более 8827 руб., а для банок 13 более 6533 руб. (в ценах 1991 г.)

Общие выводы и рекомендации

1. Определено, что изготовление сборной металлической тары методом контактной электросварки с раздавливанием является одним из перспективных направлений жестяно-баночного производства.
2. Разработана методика определения устойчивости металлической тары воздействию внутреннего и наружного избыточного давления при совместном нагружении осевой силой.
3. Разработаны математические модели, позволяющие установить влияние твердости жести на устойчивость и упругость рельефа концов жестяной тары. Для концов жестяной тары предпочтительной является жесь степени твердости С (70 ед. HR30Т), что приводит к уменьшению окружных напряжений на 18...20% по сравнению с жестью степени твердости А2 (54 ед. HR30Т), аналогично для корпусов степени твердости В.
4. Предложенные расчетные модели рельефа концов и корпусов металлических цилиндрических консервных банок, как гофрированных многосвязных оболочечных конструкций, позволили установить теоретически законо-

мерности напряженно-деформированного состояния элементов металлических банок при стерилизации.

Установлена возможность ведения процесса стерилизации консервов в металлических банках без противодействия и охлаждения их вне автоклава. Для банок с концами "волнообразного" рельефа из жести степени твердости В и С можно рекомендовать паровую стерилизацию, что упрощает конструкцию СНД - стерилизаторов непрерывного действия, а охлаждение банок в СПД можно вести вне аппарата.

5. Определено влияние формы рельефа жестяных банок на снижение давления от выпучивания их концов при стерилизации. Установлено, что величина снижения давления зависит от диаметра и объема банки. Предложенный нами "волнообразный" рельеф концов банки позволит снизить на 0,02...0,03 МПа внутреннее давление для банок 12 и на 0,01...0,02 МПа для банок 13, по сравнению с широко применяемым "ступенчатым".

6. Получены уточненные формулы для оценки значений критических нагрузок при их совместном действии для расчетов несущей способности металлических банок, нагруженных одновременно наружным избыточным давлением и осевой силой. Установлено, что глубина зига (подкрепляющей выдавки) влияет на критическое давление и критическую осевую силу.

7. Установлено, что пределом снижения толщины жести для зигованных корпусов мелкой тары (до 1 л) диаметром 50...80 мм является $S_{\min}=0,15...0,18$ мм соответственно. Свойства жести должны соответствовать степени твердости В, а глубина зигов - соотношению $h/D=0,0045$.

8. Для крупной жестяной тары диаметром 150 мм определена минимальная толщина стенки корпуса $S_{\min}=0,22$ мм при нанесении групповых зигов глубиной $h=7...7,5 \cdot S$.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Хальфалла Исмаил, А.Ф.Котельников, Г.Д.Маламен. Экспериментальные исследования устойчивости металлических банок//Тез.докл. 52-я юбилейная научная конференция института. - Одесса, ОТИПШ, 1992. - с.115.
2. Титова А.А., Котельников А.Ф., Хальфалла Исмаил. Оптимальная конструкция банок вместимостью 3080 мл для консервов//Тез.докл. 52-я юбилейная научная конференция института. - Одесса, ОТИПШ, 1992. - с.116.
3. А.Ф.Котельников, Хальфалла Исмаил. Анализ схем нагружения консервной тары на операциях изготовления и применения//Тез.докл. 53-я научная конференция института. - Одесса, ОТИПШ, 1993. - с.151.
4. Маламен Г.Д., Хальфалла Исмаил. Влияние механических колебаний несущей платформы на статическую и длительную прочность транспортной тары//Тез.докл. 53-я научная конференция института.- Одесса, ОТИПШ, 1993. - с.157.
5. А.Ф.Котельников, Хальфалла Исмаил. К расчету металлических консервных банок на осевое сжатие//Тез.докл. 54-я научная конференция института. Часть II.- Одесса, ОТИПШ, 1994. - с.10.
6. А.Ф.Котельников, Г.Д.Маламен, Хальфалла Исмаил. Результаты вне-... докл. 55-я научная конференция акаде-... глубины зигов на корпусах... конференция академии. Часть...

АНОТАЦІЯ

Хальфалла Исмаїл. Розробка та обґрунтування раціональної конструкції металевої консервної тари.

Дисертація (рукопис) на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 - процеси та апарати харчових виробництв. Одеська державна академія харчових технологій. Одеса. 1996.

Захищається сім наукових робіт, які містять результати теоретичних та експериментальних досліджень стійкості консервної тари із тонкої жерсті від зовнішнього тиску та прямої сили. На основі теорії тонкостінних оболонок проведено дослідження НДС стінки корпусу банки за допомогою ЕОМ, оптимізацію конструктивних параметрів. Проведено експериментальні та промислові випробування нової конструкції жерстяної консервної тари.

Розроблені рекомендації для використання досліджень у виробництві тари та консервів у ній.

ANNOTATION

Khalfalla Ismail Elaboration and substantiation of optimal construction of metal can package.

The dissertation claims on scientific degree as a candidate of technical sciences on speciality number 05.18.12 - processes and apparatuses of food production, Odessa State Academy of food technologies, Odessa, 1996.

The dissertation is presented in the form of a manuscript.

Seven scientific works are being prepared for defence. They include the results of theoretical and experimental investigations in strength of can package made of thin tin, from the effect of external pressure and Straight hanging force. On the basis of thin wall shell theory the investigation of load strained state of can wall casing has been made by means of ECM and optimization of design parameters has been developed. Experimental and industrial tests of new tin can package constructions have been carried out.

Recommendations to facilitate using the investigations in can package production and reserved food in it were developed.

Ключові слова: консервна банка, навантаження, стерилізація, порушення стійкості, жерсть, зіги, корпус, критичний тиск.