

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПИЩЕВЫХ ВАРОЧНЫХ АППАРАТОВ

С. В. ШИХАЛЕВ, кандидат технических наук, доцент,
Г. Б. ПИЩИКОВ, доктор технических наук,
В. А. ЛАЗАРЕВ, кандидат технических наук
И. Ф. РЕШЕТНИКОВ, кандидат технических наук, доцент,
Уральский государственный экономический университет
(620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 62)

Ключевые слова: варочный аппарат, металлоемкость, площадь поверхности, энергоэффективность, функциональная зависимость, рубашка, геометрические параметры.

В статье рассмотрены современные подходы при проектировании и разработке рациональных конструкций варочных аппаратов с рубашкой, обеспечивающие улучшенную энергоэффективность, металло- и материалоемкость с соблюдением технологических и эксплуатационных характеристик. Представлена новая методика расчета оптимальных форм теплопередающей поверхности варочных емкостей аппаратов на основе метода исследования функции нескольких переменных на экстремум. Исследования проведены для шести наиболее распространенных форм рабочих емкостей варочных аппаратов с рубашкой пищевой промышленности и общественного питания: цилиндрические емкости с полусферическим и плоским дном, прямоугольная, корытообразная и емкость в виде полусферы. Вместимость всех варочных сосудов принималась одинаковой. Результаты расчета сведены в таблицу в виде соотношений геометрических параметров, при которых поверхность сосуда минимальна. Приведен подробный пример математического анализа геометрических параметров сосуда, выполненного в виде горизонтального полуцилиндра с вертикальной прямоугольной обечайкой. Показано, что наименьшую поверхность имеет сосуд с полусферическим дном, переходящим в цилиндрическую обечайку, высота которой в два раза меньше диаметра полусферы. При одной и той же вместимости площадь поверхности варочного цилиндрического сосуда с плоским дном и корытообразной формы выше на 6,3 %, и 17,2 % соответственно.

OPTIMIZATION OF THE CONSTRUCTION OF FOOD COOKING APPARATUS

S. V. SHIKHALEV, candidate of technical sciences, assistant professor,
G. B. PISCHIKOV, doctor of technical sciences,
V. A. LAZAREV, candidate of technical sciences,
I. F. RESHETNIKOV, candidate of technical sciences, assistant professor,
Ural State University of Economics
(62 8 Marta Str., 620144, Ekaterinburg)

Keywords: food cooking apparatus, metal consumption, surface area, energy efficiency, functional dependence, shirt, geometric parameters.

In the article modern approaches are considered in the design and development of rational designs for cookers with a jacket, which provide for improved energy efficiency, metal and material consumption with observance of technological and operational characteristics. A new method for calculating the optimal forms of the heat transfer surface of the cooking vessels of apparatus is presented on the basis of the method for studying the function of several variables on an extremum. Studies were carried out for the six most common forms of working capacities of cookers with a jacket of the food industry and public catering: cylindrical tanks with a hemispherical and flat bottom, rectangular, trough-shaped and a capacity in the form of a polesphere. The capacity of all cooking vessels was assumed to be the same. The results of the calculation are tabulated in the form of geometric parameters, for which the surface of the vessel is minimal. A detailed example of a mathematical analysis of the geometric parameters of a vessel made in the form of a horizontal half cylinder with a vertical rectangular shell is given. It is shown that the smallest surface has a vessel with a hemispherical bottom, transforming into a cylindrical shell, the height of which is half the diameter of the hemisphere. With the same capacity, the surface area of the cooking vessel of a cylindrical vessel with a flat bottom and a trough shape is higher by 6.3 %, and 17.2 %, respectively.

Положительная рецензия представлена С. А. Ермаковым, доктором технических наук, профессором кафедры машин и аппаратов химических производств Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина.

В последние годы в пищевой промышленности и общественном питании предъявляются все более высокие требования к качеству выпускаемой продукции с одновременным повышением ее доступности для широких слоев населения [1–4]. Одним из путей решения данной проблемы является разработка и совершенствование технологического оборудования с целью создания оптимальных условий тепло- и массообмена пищевых сред, а также улучшения показателей его тепловой экономичности, энергоэффективности, металло- и материалоемкости, эксплуатационных характеристик. К такому оборудованию, в частности, относятся варочные аппараты с рубашкой, рабочие емкости которых изготавливают из дорогостоящей никельсодержащей нержавеющей стали, как и большинство теплообменных аппаратов [5, 6]. В связи с многообразием форм варочных сосудов, применяемых в настоящее время на предприятиях пищевой промышленности и общественного питания [7, 8], получение обобщенных данных по их металлоемкости имеет актуальное значение.

Цели и методика исследований. Для принятия принципиальных решений при конструировании новых аппаратов необходимо иметь методику расчета соотношений геометрических параметров, при которых поверхность сосуда, а, следовательно, и его металлоемкость, имеют минимальные значения при заданной вместимости. Решению этой задачи посвящена данная работа.

В основу анализа положен метод исследования функции нескольких переменных на экстремум [9]. На рисунке 1 рассмотрено его применение в приложении к достаточно сложной форме сосуда – горизонтальному полуцилиндру с вертикальной обечайкой (толщина стенок мала в сравнении с другими размерами).

Площадь поверхности данного сосуда с плоской крышкой является функцией трех переменных: диаметра D , длины L и высоты h емкости, т. е. $F = f(D, L, h)$, и определяется выражением

$$F = D \cdot L + 2 \cdot h \cdot D + 2 \cdot L \cdot h + \frac{\pi \cdot D^2}{4} + \frac{\pi \cdot D}{2} \cdot L. \quad (1)$$

Вместимость сосуда

$$V = D \cdot L \cdot h + \frac{\pi \cdot D^2}{8} \cdot L,$$

откуда

$$h = \frac{V}{D \cdot L} - \frac{\pi \cdot D}{8}. \quad (2)$$

Подставив выражение (2) в уравнение (1), находится площадь поверхности варочного сосуда

$$F = D \cdot L + \frac{2 \cdot V}{L} + \frac{2 \cdot V}{D} + \frac{\pi \cdot D \cdot L}{4}. \quad (3)$$

Поскольку вместимость сосуда задана ($V = \text{const}$), полученное уравнение содержит только две неиз-

вестные переменные диаметр D и протяженность L емкости).

Далее находятся частные производные от выражения (3) и приравняли их к нулю

$$\frac{\partial F}{\partial D} = L - \frac{2 \cdot V}{D^2} + \frac{\pi \cdot L}{4} = 0. \quad (4)$$

$$\frac{\partial F}{\partial L} = D - \frac{2 \cdot V}{L^2} + \frac{\pi \cdot D}{4} = 0. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (4) и (5), определяется, что в критической точке $L = D$. Подставляя данные значения переменных в уравнения (4) или (5), получали

$$L = D = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot V}{4 + \pi}} = 1,038 \cdot V^{1/3}. \quad (6)$$

Очевидно, что в точке, определяемой последним соотношением, возможно существование экстремума.

Далее определяется значения производных второго порядка в критической точке, учитывая выражение (6).

$$A = \frac{\partial^2 F}{\partial D^2} = \frac{4 \cdot V}{D^3} = \frac{1}{2} (4 + \pi).$$

$$B = \frac{\partial^2 F}{\partial D \cdot \partial L} = 1 + \frac{\pi}{4} = \frac{1}{4} (4 + \pi).$$

$$C = \frac{\partial^2 F}{\partial L^2} = \frac{4 \cdot V}{L^3} = \frac{1}{2} (4 + \pi).$$

$$\Delta = AC - B^2 = \frac{3}{16} (4 + \pi)^2.$$

Поскольку $\Delta > 0$ и $A > 0$, то в рассматриваемой точке функция F имеет минимум. Следующим шагом является определение высоты h в заданной точке.

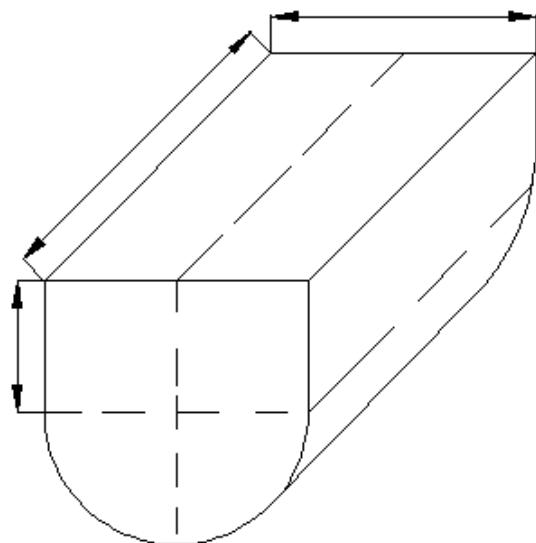
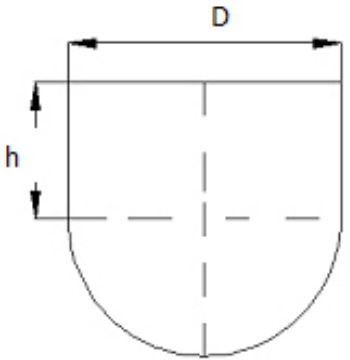
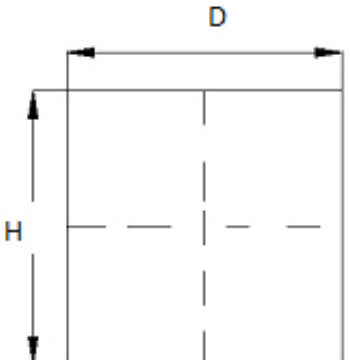
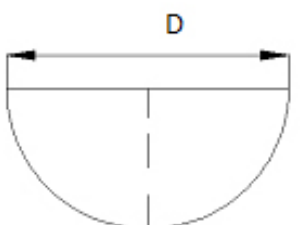
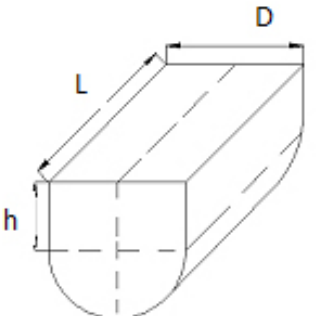


Рис. 1. Расчетная схема варочного сосуда
Fig. 1. Design circuit for cooking container

Таблица 1
 Соотношения геометрических параметров, при которых поверхность сосуда с крышкой минимальна
 Table 1
 Ratios of geometrical parameters at which the vessel surface with a cover is minimal

№ п/п	Форма сосуда	Соотношение параметров	Минимальная поверхность, F_{min}	$\frac{F_{min} - F_{баз}}{F_{баз}} \cdot 100\%$
1		$D = 1,152 \cdot V^{1/3}$ $h = \frac{D}{2}$	$5,208 \cdot V^{2/3}$	База сравнения
2		$D = 1,084 \cdot V^{1/3}$ $H = D$	$5,535 \cdot V^{2/3}$	6,3
3		$D = 1,563 \cdot V^{1/3}$	$5,758 \cdot V^{2/3}$	10,6
4		$D = 1,038 \cdot V^{1/3}$ $L = D \quad h = \frac{D}{2}$	$5,780 \cdot V^{2/3}$	11,0

Из уравнения (6) находится

$$V = \frac{D^3 (4+\pi)}{8}$$

Подставляя данное выражение в уравнение (2) с учетом, что $L=D$, определяется

$$h = \frac{D}{2} \quad (7)$$

Таким образом, поверхность рассматриваемого сосуда и его металлоемкость будут минимальны в том случае, если выполняются соотношения (6) и (7).

Подставив эти соотношения в уравнение (1), получается

$$F_{\min} = \frac{3 \cdot D^2 (4+\pi)}{4} = 5,78 \cdot V^{2/3}. \quad (8)$$

Последнее выражение позволяет определить минимально возможную поверхность сосуда данной формы по одному из геометрических параметров или заданной вместимости.

Результаты исследований. Результаты аналогичных расчетов для других форм сосудов представлены в таблице 1.

Анализ приведенных в ней зависимостей позволяет сделать вывод, что из рассмотренных сосудов наименьшую поверхность имеет сосуд с полусферическим дном, переходящим в цилиндрическую обечайку, высота которой в два раза меньше диаметра полусферы.

Величина поверхности этого сосуда ($F_{\text{газ}} = F_{\min} = 5,208 \cdot V^{2/3}$) была принята за базу при сравнении других форм сосудов.

Из последней графы таблицы 1 видно, что при одной и той же вместимости площадь поверхности второго сосуда на 6,3 %, а шестого на 17,2 % больше, чем первого. Причем, как показали расчеты, увеличение длины шестого сосуда до $L = 2 \cdot D$, т. е. приближение его к корытообразной форме, увеличивает эту цифру практически до 34 %.

Уменьшение металлоемкости варочных аппаратов с рубашкой на основе результатов вышеприведенного анализа необходимо сопоставлять с теплотехнической моделью процесса нестационарной теплопередачи таких аппаратов [10]:

$$Q = 0,89 \cdot F_{\min} \cdot k_{\kappa} \cdot \Delta t_{\kappa}^{0,92} \cdot (\Delta t_{\kappa} - \Delta t_{\kappa})^{-1} \cdot (\Delta t_{\kappa}^{1,06} - 1,04 \cdot \Delta t_{\kappa}^{1,06}) \cdot \tau_p,$$

где Q – количество тепла, переданного через стенку рабочей емкости за время разогрева аппарата τ_p , k_{κ} – коэффициент теплопередачи в конечный период разогрева;

Δt_{κ} , Δt_{κ} – температурный напор в конечный и начальный периоды разогрева, °С;

Выводы. Рекомендации. Оптимальная площадь теплопередающей поверхности пищеварочных аппаратов с рубашкой, определяемая по зависимости (9) должна быть не меньше расчетной величины с использованием уравнения (8).

Таким образом при проектировании и разработке аппаратов с рубашкой, включающих как составную часть сосуда той или иной формы, разумное уменьшение их металлоемкости с соблюдением теплотехнических, а также технологических и эксплуатационных требований позволяет определить рациональное конструктивное решение.

Литература

1. Воробьев В. В. Формирование качества создаваемого оборудования для пищевой и перерабатывающей промышленности // Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 4. С. 41–44.
2. Хузина А. Ф., Фролова И. И. Управление оборудованием на предприятиях пищевой промышленности // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2016. № 6. С. 172–178.
3. Борисова О. В. Государственное регулирование пищевой промышленности как фактор обеспечения продовольственной безопасности // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–9. С. 1911–1915.
4. Timkin V. A., Lazarev V. A. Determination of the osmotic pressure of multicomponent solutions in the food industry // Petroleum Chemistry. 2015. Vol. 55. № 4. P. 301–307.
5. Гусева Е. А., Константинова М. В. Коррозионная стойкость оборудования пищевых производств // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 12. С. 35–40.
6. Забелло В. История изобретения нержавеющей стали // Переработка молока. 2016. № 6. С. 54–55.
7. Зиборов Д. М. Совершенствование теплового оборудования предприятий общественного питания на основе использования перспективных теплоносителей : монография. М., 2016. 64 с.
8. Луганцев Л. Д., Любанов Г. А. Автоматизированный расчет на прочность аппаратов с рубашками // Известия Московского государственного технического университета. 2013. № 1. С. 7–13.
9. Лузин А. Н. Экстремумы функции в элементарной математике и алгоритм ферма // Математика в школе. 2014. № 8. С. 38–41.
10. Шихалев С. В. Моделирование варочного оборудования предприятий общественного питания. Екатеринбург, 2011. 141 с.

References

1. Vorobiev V. V. Formation of quality of the created equipment for food and processing industry // Innovation in agriculture. 2014. № 4. P. 41–44.

2. Huzina A. F., Frolova I. I. Control of the equipment at the enterprises of the food industry // Innovative economy: prospects of development and improvement. 2016. № 6. P. 172–178.
3. Borisov O. V. State regulation of the food industry as factor of ensuring food security // Basic researches. 2015. № 2–9. P. 1911–1915.
4. Timkin V. A., Lazarev V. A. Determination of the osmotic pressure of multicomponent solutions in the food industry // Petroleum Chemistry. 2015. Vol. 55. № 4. P. 301–307.
5. Guseva E. A., Konstantinova M. V. Corrosion resistance of the equipment of food productions // Bulletin of the Irkutsk state technical university. 2014. № 12. P. 35–40.
6. Zabello V. History of the invention of stainless steels // Processing of milk. 2016. № 6. P. 54–55.
7. Ziborov D. M. Improvement of the thermal equipment of catering establishments on the basis of use of perspective heat carriers : monograph. M, 2016. 64 с.
8. Lugantsev L. D., Lyubanov G.A. The automated calculation on durability of devices with shirts // News of the Moscow state technical university. 2013. № 1. P. 7–13.
9. Luzin A. N. Function extrema in elementary mathematics and an algorithm a farm // Mathematics at school. 2014. № 8. P. 38–41.
10. Shikhalev S. V. Modeling of the cooking equipment of catering establishments. Yekaterinburg, 2011. 141 p.