

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РУБАШЕЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ И ЭНЕРГОЕМКОСТИ

М. И. Ботов, Д. М. Давыдов, Е. И. Королева

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова,
Москва, Россия

В статье обоснована экономическая целесообразность использования рубашечных теплообменников листоканального типа. Обычно паровые рубашки технологических аппаратов пищевой промышленности и предприятий питания имеют форму открытого щелевого пространства и для работы под давлением изготавливаются большой толщины, что предопределяет их большую металлоемкость. В отличие от обычных щелевых рубашек листоканальные панели представляют собой конструкцию, составленную из двух тонких листов металла, сваренных при помощи контактной электрической сварки. Между листами сформированы греющие паровые каналы. Такая конструкция дает возможность значительно уменьшить толщину стенки и тем самым значительно снизить металлоемкость, а соответственно, и энергоемкость технологического оборудования. Авторами описан метод, позволяющий оптимизировать размеры межканальных участков листоканальных панелей, используемых в качестве рубашек аппаратов для тепловой обработки пищи. Для уменьшения толщины стенок панелей предлагается максимально увеличить площадь межканальных участков, не уменьшая при этом общий тепловой поток, который передает панель нагреваемой среде. Данная задача решена при помощи метода расчета, базирующегося на использовании коэффициента эффективности теплового ребра. Произведен расчет и приведены оптимальные размеры межканальных участков при изменении толщины стенки рубашечного теплообменника, изготовленного из хромоникелевой нержавеющей стали марки 12Х18Н9Т.

Ключевые слова: листоканальная панель, рубашечный теплообменник, оптимальный размер, межканальный участок, тепловое ребро, тепловой поток, паровой канал, удельный расход энергии, материалоемкость.

RAISING ECONOMIC EFFICIENCY OF JACKET TECHNOLOGICAL DEVICES AT THE EXPENSE OF DECREASING METAL-CONSUMING AND POWER-CONSUMING CHARACTERISTICS

Mikhail I. Botov, Denis M. Davydov, Elena I. Koroleva

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

The article grounds economic expediency of using jacket thermal exchangers of the sheet-canal type. As a rule steam jackets of technological devices in food industry and catering enterprises have a form of an open slit space and for work under pressure they are made of walls of big thickness, which envisages their high metal-consumption. In contrast to standard slit jackets, sheet-canal panels are a structure made of two thick metal sheets welded by contact electric welding. Heating steam canals are formed between the sheets. Such structure allows us to decrease the wall thickness and therefore to cut metal-consumption and, consequently power-consumption of technological equipment. The article describes the method which could optimize sizes of inter-canal zones of sheet-canal panels used as jackets in devices of thermal treatment of food. In order to cut wall thickness of panels it is proposed to increase the square of inter-canal zones without declining the total thermal flow, which is passed by the panel to the agent being heated. This problem was resolved by the calculation method based on the use of

thermal rib efficiency coefficient. The authors made calculations and provided optimal sizes of inter-canal zones in case of altering the wall thickness of jacket thermal exchanger made of chrome-nickel stainless steel of the brand 12X18H9T.

Keywords: sheet-canal panel, jacket thermal exchanger, optimal size, inter-canal zone, thermal rib, thermal flow, steam canal, specific power consumption, material-consumption.

Экономическая эффективность теплового оборудования, используемого для кулинарной обработки пищевого сырья, в значительной степени определяется металлоемкостью и энергоемкостью реализуемых процессов. Материалоемкость рубашечных аппаратов значительно больше, так как они работают при повышенном давлении. При разогреве и изменении температурного режима затрачивается дополнительная энергия и повышаются затраты на процесс. Снижение металлоемкости – наиболее радикальный способ повышения экономической эффективности.

В пищеперерабатывающих отраслях промышленности и на предприятиях общественного питания находят все большее применение теплообменники листоканального типа [2]. Однако их применение требует обоснованного и простого расчета размеров листоканальной панели: размеров паровых каналов и межканальных участков. Расчет паровых каналов подробно описан в работе [1], а расчет межканальных участков нуждается в дальнейшем теоретическом обосновании.

Листоканальные теплообменники заменяют традиционные рубашки аппаратов и позволяют создать изотермичное температурное поле на греющих поверхностях и одновременно ограничить температуру нагрева. Работая даже при высоких давлениях, они сохраняют прочность и устойчивость к деформациям при малой толщине стенок и, как следствие, характеризуются небольшой металлоемкостью.

Листоканальную панель получают путем контактной электросварки двух гофрированных листов, имеющих штампованные участки контакта. Каналы представляют собой активную часть теплооб-

менника, а межканальные участки выполняют функции теплового ребра.

В случае если листоканальная панель является стенкой рабочей камеры, ее внутренний лист нередко делают плоским. Гофрированный наружный лист, контактирующий с окружающей средой, теплоизолируют.

В качестве промежуточного теплоносителя для низкотемпературных листоканальных теплообменников ($t \leq 120^\circ\text{C}$) чаще всего используют влажный водяной пар; для высокотемпературных ($t \leq 320^\circ\text{C}$) – пары высокотемпературных органических двухфазных теплоносителей (ВОТ): дифенильной смеси, дитоллилметана, дикумилметана. Иногда в качестве греющей среды используют воду и минеральные масла.

Наличие межканальных участков (рисунк) уменьшает теплопередающую поверхность панели как теплообменника. Степень этого уменьшения требует специальной оценки.

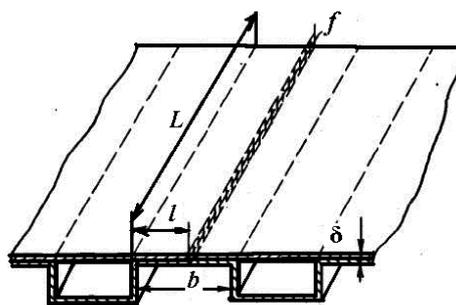


Рис. Схема к расчету межканального участка панели

Для этих целей введем понятие коэффициента межканального участка (Ψ), который можно определить из следующего уравнения:

$$\Psi = \frac{Q_\lambda}{Q_\alpha}, \quad (1)$$

где Q_λ – тепловой поток от поверхности теплового ребра (Вт);

Q_a – тепловой поток от поверхности парового канала эквивалентных размеров (Вт).

С помощью коэффициента эффективности можно вычислить

$$F = F_k + \Psi \cdot F_p, \quad (2)$$

где F_k и F_p – площадь соответственно каналов и межканальных участков.

Для определения коэффициента Ψ рассмотрим соотношение в уравнении (1). Тепловой поток от парового канала к нагреваемой среде, как известно, вычисляется по уравнению теплоотдачи:

$$Q_a = \alpha \cdot F_k \cdot (t_{cr} - t_{cp}), \quad (3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от стенки канала к нагреваемой среде (Вт/м²К);

t_{cr} и t_{cp} – температура соответственно стенки парового канала и нагреваемой среды (°С).

На основании данных базовых соотношений, используя математическое моделирование процесса нагрева, базирующееся на компьютерном моделировании процессов в малых объемах [4], точно определяется оптимальное соотношение поверхностей каналов и межканальных участков. Однако этот метод очень громоздкий, длительный и требует специального математического обеспечения. Его следует заменить на более простой, но незначительно уступающий по точности инженерный метод.

Для вычисления теплового потока на межканальном участке рассмотрим расчетную схему, представленную на рисунке. Межканальный участок делится на две равные полосы и состоит из двух симметрично расположенных тепловых ребер. Каждое ребро в основании имеет температуру, близкую к температуре пара в канале, а тепловые потоки по ребру направлены навстречу друг другу. Такая задача соответствует условиям работы теплового ребра прямоугольного профиля постоянного сечения без теплоотвода на торце и при одностороннем отводе теплоты, для которых справедливо следующее соотношение:

$$Q_\lambda = (t_{cr} - t_{cp}) \cdot \lambda \cdot m \cdot f \cdot th(m \cdot l), \quad (4)$$

где $(t_{cr} - t_{cp})$ – температурный напор в основании ребра (°С);

λ – коэффициент теплопроводности материала листоканальной панели (Вт/мК);

m – параметр ребра (м⁻¹);

f – площадь живого сечения теплового ребра (м²);

l – длина теплового ребра, равная половине b – ширины межканального участка (м).

Последние два показателя определяли по следующим формулам:

$$f = \delta \cdot L, \quad (5)$$

$$m = \left(\frac{\alpha \cdot \Pi}{\lambda \cdot f} \right)^{0.5}, \quad (6)$$

где δ – толщина панели в зоне межканального участка (м);

L – поперечная длина межканального участка (м);

Π – часть периметра живого сечения ребра, участвующая в теплообмене (м).

Для случая одностороннего теплоотвода $(\Pi - L)$ параметр ребра равен

$$m = \sqrt{\frac{\alpha \cdot L}{\lambda(L \cdot \delta)}} = \sqrt{\frac{\alpha}{\lambda \cdot \delta}}. \quad (7)$$

Подставив выражения (3) и (4) в формулу (1), получим

$$\Psi = \frac{\lambda \cdot (t_{cr} - t_{cp}) \cdot m \cdot \delta \cdot L \cdot th(m \cdot l)}{\alpha \cdot l \cdot L \cdot (t_{cr} - t_{cp})}. \quad (8)$$

После сокращений уравнение будет иметь следующий вид:

$$\Psi = \frac{\lambda \cdot \delta}{\alpha} \cdot m \cdot \frac{[th(m \cdot l)]}{l}. \quad (9)$$

С учетом формулы (6) получим итоговое выражение для коэффициента эффективности межканального участка:

$$\Psi = \frac{th(m \cdot l)}{m \cdot l}. \quad (10)$$

Пользуясь данным соотношением, можно определить общую площадь теплопередающей поверхности листоканальной панели, использованной в аппарате (по формуле (2)). Кроме того, оно позволяет, предварительно задавшись необходимой величиной коэффициента Ψ , вычислить соответствующую длину теплового ребра,

а следовательно, и ширину межканального участка ($\delta = 2 l$).

Вид материала панели и толщина ее листов определяются требованиями технологии, прочности и устойчивости конструкции. Коэффициент эффективности определяет ширину межканального участка панели, предназначенной для нагрева той или иной среды. С использованием этого

метода нами вычислены значения ширины межканальных участков для листоканальных панелей, выполненных из хромистой нержавеющей стали толщиной от 1 до 4 мм, предназначенных для нагрева воды и водных растворов до 100°C и воздуха до 300°C. В таблице приведены результаты расчета для принятого значения коэффициента $\Psi = 0,3; 0,5$ и $0,73$.

Ширина межканальных участков (δ) в зависимости от коэффициента эффективности Ψ

Толщина панели на межканальном участке (δ), мм	Нагрев воды до 100°C			Нагрев воздуха до 300°C		
	$\Psi = 0,3$	$\Psi = 0,5$	$\Psi = 0,73$	$\Psi = 0,3$	$\Psi = 0,5$	$\Psi = 0,7$
1	24	14	8	138	86	50
2	32	16	12	186	126	80
3	36	24	14	210	150	96
4	48	34	28	230	170	106

Таким образом, предложенный коэффициент эффективности межканальных участков и полученное соотношение для его вычисления позволяют определить эффективную поверхность теплообмена для листоканальных панелей различного применения или проектировать панели с межканальными зонами, работающими с заданной интенсивностью.

Использование листоканальных панелей в пищеварочных котлах позволяет уменьшить металлоемкость основного теплового узла «варочный сосуд рубашка» в среднем в 4–5 раз, что приводит к сокращению времени разогрева аппаратов на 25–30% и уменьшению удельных энергоза-

трат в режиме разогрева не менее чем на 10%. Это свидетельствует о значительном повышении экономической эффективности данных аппаратов по сравнению с традиционными аналогами.

Предложенный метод расчета и рекомендуемые расчетные данные межканальных участков листоканальных панелей позволят минимизировать материалоемкость и дополнительно уменьшить энергозатраты и повысить экономическую эффективность при эксплуатации рубашечных тепловых аппаратов пищевой промышленности и предприятий общественного питания.

Список литературы

1. Ботов М. И. Исследование теплообмена в тупиковых каналах листоканальных панелей рубашечных аппаратов // Труды инженерно-экономического института. – Вып. 2. – М. : Изд-во Россельхозакадемии, 2002.
2. Гордон Л. И. Панельное тепловое оборудование предприятий общественного питания. – М. : Экономика, 1983.
3. Кирпичников В. П., Давыдов А. М., Давыдов Д. М. Повышение технико-экономических показателей чугунных конфорок электроплит для предприятий питания // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – 2017. – № 5 (95). – С. 113–118.
4. Клебанов Я. М., Ботов М. И., Солдусова Е. А. Моделирование процессов теплопроводности в конфорках электрических плит // Математическое моделирование и краевые задачи : труды Четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием. – Ч. 1. – Самара : СамГТУ, 2007.

References

1. Botov M. I. Issledovanie teploobmena v tupikovykh kanalakh listokanal'nykh paneley rubashechnykh apparatov [Heat Exchange in the Study of Deadend Canals Panels with Tubular Channels from Thin Steel Sheets]. *Trudy inzhenerno-ekonomicheskogo instituta* [Works of Engineering-Economic Institute], Issue 2. Moscow, Agricultural Sciences Publishing House, 2002. (In Russ.).
2. Gordon L. I. Panel'noe teplovoe oborudovanie predpriyatiy obshchestvennogo pitaniya [Panel Thermal Catering Equipment]. Moscow, Ekonomika, 1983. (In Russ.).
3. Kirpichnikov V. P., Davydov A. M., Davydov D. M. Povyshenie tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley chugunnykh konforok elektroplit dlya predpriyatiy pitaniya [Raising Engineering and Economic Figures of Electric Stove Iron Rings for Catering Enterprises]. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2017, No. 5 (95), pp. 113–118. (In Russ.).
4. Klebanov Ya. M., Botov M. I., Soldusova E. A. Modelirovanie protsessov teploprovodnosti v konforkakh elektricheskikh plit [Simulation of Heat Conduction in Electric Elements of Cookers]. *Matematicheskoe modelirovanie i kraevye zadachi, trudy chetoertoy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Mathematical Modeling and Boundary Value Problems, proceedings of the fourth all-Russian scientific conference with international participation], Part 1. Samara, SamGTU, 2007. (In Russ.).

Сведения об авторах

Михаил Иванович Ботов

кандидат технических наук, профессор
кафедры ресторанного бизнеса
РЭУ им. Г. В. Плеханова.
Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический
университет имени Г. В. Плеханова»,
117997, Москва, Стремянный пер., д. 36.
E-mail: botov49@mail.ru

Денис Михайлович Давыдов

кандидат технических наук, декан факультета
гостинично-ресторанной, туристической
и спортивной индустрии
РЭУ им. Г. В. Плеханова.
Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический
университет имени Г. В. Плеханова», 117997,
Москва, Стремянный пер., д. 36.
E-mail: davydov.dm@rea.ru

Елена Ивановна Королева

кандидат технических наук, доцент
кафедры ресторанного бизнеса
РЭУ им. Г. В. Плеханова.
Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический
университет имени Г. В. Плеханова», 117997,
Москва, Стремянный пер., д. 36.
E-mail: elena_koroleva_1949@mail.ru

Information about the authors

Mikhail I. Botov

PhD, Professor of the Department
for Restaurant Business of the PRUE.
Address: Plekhanov Russian University
of Economics, 36 Stremyanny Lane,
Moscow, 117997,
Russian Federation.
E-mail: botov49@mail.ru

Denis M. Davydov

PhD, Dean of Hotel, Restaurant,
Tourism and Sport Industry Faculty
of the PRUE.
Address: Plekhanov Russian University
of Economics, 36 Stremyanny Lane,
Moscow, 117997,
Russian Federation.
E-mail: davydov.dm@rea.ru

Elena I. Koroleva

PhD, Assistant Professor of the Department
for Restaurant Business of the PRUE.
Address: Plekhanov Russian University
of Economics, 36 Stremyanny Lane,
Moscow, 117997,
Russian Federation.
E-mail: elena_koroleva_1949@mail.ru