

УДК 536.24:637.5.033

Совершенствование тепломассообменных процессов в аппаратах для стерилизации консервов

Канд. техн. наук Е.И. ВЕРБОЛОЗ

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий

Theoretical investigation of heat exchange processes in apparatuses for sterilization of canned foods is presented. Formulae for the calculation of a can movement speed in upward and downward current with the optimum operation of the sterilizer were obtained.

В последнее время на пищевых производствах повышенное внимание уделяется глубокой переработке пищевого сырья с получением высококачественных продуктов, в частности консервов. К числу важнейших задач, от решения которых зависит повышение эффективности соответствующего оборудования, по праву относятся всестороннее исследование внутреннего и внешнего тепло- и массообмена.

Рассмотрение принципов работы современных стерилизаторов консервов показывает, что процесс нагрева банки до температуры стерилизации и выдержка ее при этой температуре осуществляются за время перемещения банки от точки ее входа в аппарат до точки выхода из него [1, 2].

За этот период банка движется последовательно в нисходящем и восходящем потоках, а требуемое время пребывания банки в аппарате τ можно определить как

$$\tau = (\tau_{\text{нк}} + \tau_{\text{вк}} + \tau_{\text{н} \rightarrow \text{в}} + \tau_{\text{в} \rightarrow \text{н}})z, \quad (1)$$

где $\tau_{\text{нк}}$, $\tau_{\text{вк}}$ – время пребывания банки в канале с нисходящим и восходящим потоками соответственно;

$\tau_{\text{н} \rightarrow \text{в}}$, $\tau_{\text{в} \rightarrow \text{н}}$ – время перехода банки из канала в канал;
 z – количество пар каналов в аппарате.

Так как $\tau_{\text{нк}}(\tau_{\text{вк}}) \gg \tau_{\text{н} \rightarrow \text{в}}(\tau_{\text{в} \rightarrow \text{н}})$, то с некоторым допущением можно принять

$$\tau = (\tau_{\text{нк}} + \tau_{\text{вк}})z. \quad (2)$$

Очевидно, что это время будет определяться скоростью движения банок в каждом из каналов и длиной каналов, которая из чисто конструктивных соображений принимается одинаковой, т.е.

$$\tau = (\tau_{\text{нк}} + \tau_{\text{вк}})z = \frac{H_{\text{нк}}}{U_{\text{бн}}} + \frac{H_{\text{вк}}}{U_{\text{бв}}}, \quad (3)$$

где $H_{\text{нк}}$, $H_{\text{вк}}$ – длина канала с нисходящим и восходящим потоками;

$U_{\text{бн}}$ и $U_{\text{бв}}$ – скорость движения банок в нисходящем и восходящем потоках.

Отсюда становится очевидным, что для определения времени пребывания банки в аппарате необходимо знать скорость движения банки в каждом из каналов $U_{\text{бн}}$ и $U_{\text{бв}}$.

Другим важным моментом, определяющим эффективность процесса теплопередачи, является частота переворотов банки с доньшка на крышку.

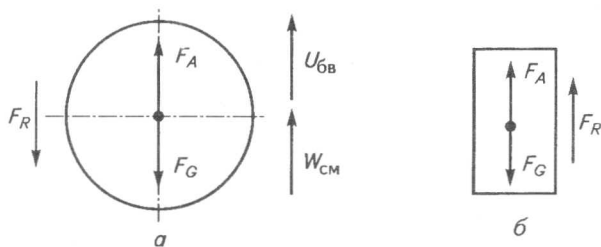
Вращение банки происходит, как правило, при переходе банки из канала в канал. Наиболее эффективной будет такая частота, при которой жидкая фаза внутри банки будет находиться постоянно в движении, т.е. как только переток жидкой фазы, вызванный предыдущим переворотом, закончился, наступает очередной переворот.

Продолжительность процесса перетока жидкости внутри банки $\tau_{\text{п}}$, в свою очередь, определяется временем $\tau_{\text{нк}}$ или $\tau_{\text{вк}}$. Если $\tau_{\text{п}} > \tau_{\text{нк}}$, значит, длина канала необоснованно занижена, так как переток жидкости еще не закончился, а очередной переворот уже произошел. Поэтому время пребывания банки в канале и время перетока жидкости внутри банки должно быть одинаковым, т.е. условием оптимальной работы аппарата будет

$$\tau_{\text{нк}}(\tau_{\text{вк}}) = \tau_{\text{п}}. \quad (4)$$

Следовательно, необходимо определить скорости движения банки в восходящем и нисходящем потоках, а также время перетока жидкости внутри банки с продуктом.

При движении банок в восходящем вертикальном потоке наблюдается достаточно сложный и практически неизученный процесс перемещения твердой



Баланс сил, действующих на единичную банку:
а – в восходящем потоке; б – в нисходящем потоке

одионочной частицы газожидкостным потоком.

Учитывая, что в данный момент времени в определенном сечении канала будет находиться лишь одна банка, перемещение ее можно представить как процесс гидротранспортирования единичной твердой частицы газожидкостной смесью и рассматривать его без учета влияния других банок, находящихся в канале.

Баланс сил, действующих на банку и определяющих ее скорость в вертикальном направлении, схематично изображен на рисунке.

На банку, находящуюся в газожидкостном потоке, действуют сила тяжести F_G , Архимедова сила F_A и сила сопротивления F_R .

Тогда

$$F_G - F_A - F_R = \frac{mdU_{6B}}{dt}. \quad (5)$$

В случае равномерного движения банки в канале

$$F_G - F_A - F_R = 0. \quad (6)$$

В свою очередь,

$$F_A = V_6 \rho_{см} g, \quad (7)$$

где V_6 – объем банки;

$\rho_{см}$ – плотность газожидкостной смеси;

g – ускорение свободного падения.

$$F_G = V_6 \rho_6 g, \quad (8)$$

где ρ_6 – условная плотность банки;

$$F_R = C_R S_{mid} \rho_{см} (W_{см} - U_{6B})^2 / 2, \quad (9)$$

где C_R – коэффициент сопротивления банки;

$W_{см}$ – приведенная скорость смеси.

Подставляя эти соотношения в уравнение баланса, получим

$$V_6 \rho_6 g - V_6 \rho_{см} g - C_R S_{mid} \rho_{см} (W_{см} - U_{6B})^2 / 2 = 0. \quad (10)$$

Известно также, что

$$\rho_{см} = \rho_ж (1 - \varphi_r) + \rho_r \varphi_r, \quad (11)$$

где $\rho_ж$ – плотность жидкости;

φ_r – доля газа в смеси;

ρ_r – плотность газа.

Принимая во внимание, что $\rho_ж \gg \rho_r$ и $(1 - \varphi_r) > \varphi_r$, можно полагать, что $\rho_r \varphi_r \approx 0$. Тогда

$$\rho_{см} \approx \rho_ж (1 - \varphi_r), \quad (12)$$

откуда

$$\begin{aligned} V_6 g [\rho_6 - (1 - \varphi_r) \rho_ж] &= \\ &= C_R \rho_ж (1 - \varphi_r) (W_{см} - U_{6B})^2 S_{mid} / 2 \end{aligned} \quad (13)$$

или

$$\begin{aligned} (W_{см} - U_{6B})^2 &= \frac{2V_6 g}{S_{mid} C_R} \frac{\rho_6 - \rho_ж (1 - \varphi_r)}{\rho_ж (1 - \varphi_r)}; \\ W_{см} - U_{6B} &= \sqrt{\frac{2V_6 g}{S_{mid} C_R} \frac{\rho_6 - \rho_ж (1 - \varphi_r)}{\rho_ж (1 - \varphi_r)}}; \\ U_{6B} &= W_{см} - \sqrt{\frac{2V_6 g}{S_{mid} C_R} \frac{\rho_6}{\rho_ж (1 - \varphi_r)}} - 1, \end{aligned} \quad (14)$$

где $W_{см} = W_ж + W_r$.

Таким образом, скорость движения банки в восходящем газожидкостном потоке определяют: геометрические размеры и условная плотность банки; скорость несущего потока и его газосодержание, а также коэффициент сопротивления банки C_R .

В опускных каналах банка движется нисходящим прямотоком в свободной от газовой фазы жидкости.

Составляя баланс сил, действующих на банку при ее нисходящем движении (по аналогии с предыдущим случаем), получим:

$$\begin{aligned} F_G - F_A + F_R &= 0; \\ V_6 \rho_6 g - V_6 \rho_ж g + C_R S_{mid} \rho_ж (U_{6B} - W_ж)^2 / 2 &= 0, \end{aligned} \quad (15)$$

откуда после ряда преобразований можно получить уравнение для расчета U_{6B} :

$$U_{6B} = W_ж + \frac{2V_6 g}{C_R S_{mid}} \left(\frac{\rho_6}{\rho_ж} - 1 \right). \quad (16)$$

Входящий в приведенные уравнения коэффициент сопротивления банки C_R требует либо теоретического, либо экспериментального определения, и в общем случае является функцией числа Рейнольдса и фактора формы.

Список литературы

1. А.с. 1517918 СССР. Аппарат непрерывного действия для термической обработки продуктов в банках / Е.И. Верболюз и др. – БИ, 1989, № 40.
2. Касьянов Г.И., Иванова Е.Е. Технология переработки рыбы и морепродуктов. – Ростов-на-Дону: МарТ, 2001.