

$T_2 = f(\tau)$ (рис. 2, а, точка 4) совместится с точкой 1, что означает одновременное включение обоих каскадов ($\tau_1 = 0$). Значение $T_{пр}$, соответствующее этому моменту, можно считать максимально допустимым с точки зрения условия $\tau_0 \rightarrow \min$.

Результаты проведенных исследований могут быть полезны при эксплуатации ККТОС в различных температурных режимах диапазона 230—270 К.

Список литературы

1. Приборы для определения коэффициента теплопроводности материалов/Л. Ф. Янкелев, А. П. Тимофеев, М. Н. Томашевич, Н. П. Красильников.—Строит. материалы, 1977, № 1, с. 26—27.

2. Приборы для определения коэффициента теплопроводности материалов в диапазоне 240—300 К/В. К. Гарачук, М. Н. Томашевич, В. А. Гернер и др.—Холсдил. техника и технология: Респ. межвед. науч.-техн. сб., 1982, вып. 35, с. 105—109.

3. Томашевич М. Н. Оптимизация конструкций термоэлектрических батарей и технология их изготовления: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Одесса, 1970. 21 с.

Поступила в редколлегию 08.04.82

УДК 663.674

А. В. ОВСЯННИК, В. С. МУРАШОВ, канд. техн. наук

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФРИЗЕРОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Проектирование аппаратов по производству мороженого (фризеров) и выбор геометрических параметров их теплопередающей поверхности в настоящее время базируются на эмпирических зависимостях, а действительные тепловые процессы, происходящие на поверхностях рабочих цилиндров фризеров, практически не изучались.

На основании полученных экспериментальных данных и теоретических исследований, проведенных на математической модели и на промышленной установке, получены зависимости, которые можно использовать для теплового и конструктивного расчета фризеров непрерывного действия, а также аппаратов подобного типа (льдогенераторов, криоконцентраторов и т. д.).

При тепловом расчете задаются следующими параметрами: производительностью фризера G_m , кг/ч; температурой входа смеси $T_2^{вх}$, °С; числом оборотов мешалки фризера n_m , 1/с; температурой кристаллизации смеси $T_{кр}$, °С; внутренним радиусом цилиндра фризера r_0 , м; толщиной стенки цилиндра фризера δ , м; длиной охлаждаемой части цилиндра фризера L , м; температурой мороженого на выходе из фризера $T_2^{вых}$, °С; температурой кипения хладагента T_0 , °С.

Тепловая нагрузка фризера без учета и с учетом внешних теплопритоков определяется по формулам

$$Q_0 = G_m [c_{см} (T_2^{вх} - T_{кр}) + c_m (T_{кр} - T_2^{вых}) + 335G_B] + 3600N_B;$$

$$Q_{\phi} = 1,3Q_0.$$

Тепловая нагрузка фризера, отнесенная к наружной поверхности цилиндра,

$$q_{\phi} = Q_{\phi}/2\pi L (r_0 + \delta);$$

$$q_0 = Q_0/2\pi L (r_0 + \delta).$$

По рекомендуемым значениям кратности циркуляции хладагента и температур кипения (табл. 1) определяется величина кратности циркуляции, и тогда расход хладагента

$$G_a = zQ_{\phi}/r,$$

где r — теплота парообразования хладагента.

Средний температурный напор между смесью и хладагентом

$$\Delta t = \frac{[(T_2^{\text{вх}} - T_0) + (T_{\text{кр}} - T_0)] q_1 + [(T_{\text{кр}} - T_0) + (T_2^{\text{вых}} - T_0)] q_2}{2(q_1 + q_2)},$$

где q_1 — удельное количество теплоты, отводимое хладагентом от смеси при ее охлаждении от $T_2^{\text{вх}}$ до $T_{\text{кр}}$, $q_1 = c_{\text{см}}(T_2^{\text{вх}} - T_{\text{кр}})$; q_2 — удельное количество теплоты, отводимое хладагентом при замораживании смеси и ее переохлаждении до $T_2^{\text{вых}}$, $q_2 = \left(\frac{Q_0 - 3600N_{\text{в}}}{G_{\text{м}}}\right) - q_1$.

Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности цилиндра фризера к кипящему хладагенту определяется по зависимости

$$\text{Nu}_* = 23,5 \cdot 10^{-5} \text{Re}_*^{0,85} K_p^{0,73},$$

где $\text{Nu}_* = \alpha_0 l_* / \lambda_{\text{ж}}$; $\text{Re} = \omega_* l_* / \nu_{\text{ж}}$; $K_p = \rho_0 / \sqrt{\sigma g (\rho' - \rho'')}$.

Физические параметры, входящие в число подобия, берутся при температурах насыщения. Характерный линейный размер $l_* = \sqrt{\sigma/g(\rho' - \rho'')}$; приведенная скорость парообразования $\omega_* = q_{\phi}/\rho'' r$.

Коэффициент теплоотдачи смеси мороженого к внутренней поверхности цилиндра фризера или к намораживаемому слою смеси

$$\alpha_{\text{см}} = 0,026 q_0^{1,1} \rho_0^{1,68},$$

где ρ_0 — давление насыщения.

Время намораживания слоя смеси толщиной ξ определяется по формуле

$$\tau = 60/xn_{\text{м}},$$

где x — количество ножей мешалки.

Коэффициент теплопередачи цилиндра фризера определяется по известной зависимости

$$k = Q_{\phi}/\Delta t 2\pi L (r_0 + \delta).$$

Таблица 1

| $T_0, ^\circ\text{C}$ | $G_a, \text{кг/ч}$ | $\alpha_0, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ | $\alpha_{\text{см}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ | z | $k, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ |
|-----------------------|--------------------|---|---|-----|--|
| -30 | 163 | 4480 | 6050 | 3,0 | 1980 |
| -30 | 134 | 4060 | 4850 | 2,7 | 1740 |
| -28 | 120 | 3960 | 5500 | 3,0 | 1330 |
| -26 | 110 | 4750 | 8700 | 2,3 | 1800 |

Толщина наморажи аемого слоя смеси

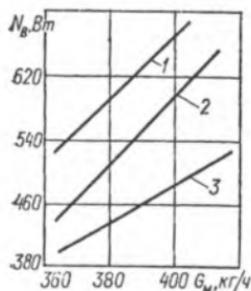
$$\xi = - \frac{(B - A) r \alpha_{\text{см}} (T_2^{\text{ВХ}} - T_{\text{кр}})}{B \rho \beta};$$

$$A = - \frac{\lambda_2 (T_0 - T_{\text{кр}})}{\alpha_{\text{см}} (T_2^{\text{ВХ}} - T_{\text{кр}}) (r_0 + \delta)};$$

$$B = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \left[\left(\ln \frac{r_0}{r_0 + \delta} \right) + \frac{\lambda_1}{\alpha_0 (r_0 + \delta)} \right],$$

где λ_1, λ_2 — коэффициенты теплопроводности цилиндра фризера и смеси соответственно; ρ — плотность смеси; β — теплота кристаллизации воды.

Мощность, расходуемая на срезание намораживаемого слоя смеси $N_{\text{в}}$, определяется по графической зависимости, представленной на рисунке.



Зависимость расхода мощности на срезание намораживаемого слоя смеси от производительности фризера при: $T_2^{\text{ВХ}}, ^\circ\text{C}$; 1 — —4,0 ... —4,5; 2 — —3,5; 3 — —3,0.

Для определения поверхности теплообмена цилиндра фризера используются следующие зависимости:

для начального участка цилиндра (участка охлаждения смеси)

$$L_1 = 8,7 \left\{ \frac{r_0}{s_1} \ln \left[\frac{T_{\text{кр}} - T_0}{T_0^{\text{ВХ}} - T_0} \frac{s_1^2 \psi(s_1) (1 - PR \ln R)}{PR} \right] \right\};$$

для длины охлаждаемой части цилиндра фризера $L = 12L_1$, где s_1 — корень характеристического уравнения, определяемый по табл. 2; $\psi(s_1)$ — многочлен, определяемый по табл. 2; $P = \alpha_0 r_0 / \lambda_1$ — безразмерный параметр.

Наружная поверхность фризера определяется как $F = 2\pi L (r_0 + \delta)$.

На основании приведенных зависимостей были рассчитаны длина охлаждаемой части цилиндра и его теплопередающая поверхность. Максимальная относительная погрешность указанных величин составила $\pm 8\%$ при различных значениях радиуса цилиндра и температурах кипения хладагента — 24...—44 $^\circ\text{C}$.

Поступила в редколлегию 19.05.82.

Таблица 2^о

| $P = \frac{\alpha_0 r_0}{\lambda_1}$ | $\psi(s_1)$ | s_1 | $\theta = \frac{T_{\text{кр}} - T_0}{T_2^{\text{ВХ}} - T_0}$ |
|--------------------------------------|-------------|-------|--|
| 2,0 | 1100 | 38,00 | 0,67 |
| 2,5 | 1050 | 37,85 | 0,71 |
| 3,0 | 1002 | 37,70 | 0,74 |
| 4,0 | 915 | 37,45 | 0,77 |
| 5,0 | 839 | 37,10 | 0,80 |

Примечание. $\text{Re} \cdot 10^{-4} = 15,6$.