

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «МГТУ»

Кафедра технологии, машин и оборудования пищевых производств

**Методическое пособие
по дисциплине**

**Технологическое оборудование по
переработке полуфабрикатов**

*для студентов очной и заочной форм обучения
специальности 260601.65 – Машины и аппараты пищевых производств,
направлению подготовки*

*151000.62 Технологические машины и оборудование
профиль подготовки «Машины и аппараты пищевых производств»*

Майкоп 2014

УДК 664(07)
ББК Л812я73-2
М 54

Печатается по решению научно-технического совета технологического факультета ФГБОУ ВПО «МГТУ»

Составители: д-р техн. наук, профессор А. А. Схаляхов
старший преподаватель М. М. Коблева

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Х. Р. Сиухов

Методическое пособие для выполнения контрольных работ по дисциплине «Технологическое оборудование по переработке полуфабрикатов» для студентов всех форм обучения специальности 260601 «Машины и аппараты пищевых производств» и направлению подготовки 151000.62 Технологические машины и оборудование, профиль подготовки «Машины и аппараты пищевых производств» / А. А. Схаляхов, М. М. Коблева. – Майкоп: изд-во ИП Пермяков С.А., 2014. – 72 с.

Методическое пособие включает теоретический материал, решение типовых задач. Предназначено для студентов всех форм обучения по специальности 260601 «Машины и аппараты пищевых производств» и направлению подготовки 151000.62 Технологические машины и оборудование, профиль подготовки «Машины и аппараты пищевых производств»

Технологическое оборудование для механической переработки сырья и полуфабрикатов разделением

Оборудование для разделения грубодисперсных пищевых суспензий

Рассмотрим вопросы расчета оборудования для отстаивания, фильтрации и центрифугирования.

Расчеты отстойников.

Технологический расчет заключается в рассмотрении системы материальных балансов

$$G_c = G_{oc} + G_j, \quad (1)$$

$$G_c X_c = G_{oc} X_{oc} + G_j X_j, \quad (2)$$

где G_c , G_{oc} , G_j - соответственно расход потоков исходной суспензии, фазы осадка и жидкой фазы;

X_c , X_{oc} , X_j - соответственно концентрации отделяемого компонента в исходной суспензии, в фазе осадка и в жидкой фазе.

Обычно дано G_c , X_c , X_{oc} , X_j и необходимо определить G_{oc} , G_j .

Решение системы материальных балансов дает

$$G_{oc} = G_c(X_c - X_j) / (X_{oc} - X_j), \quad (3)$$

$$G_j = G_c(X_{oc} - X_c) / (X_{oc} - X_j). \quad (4)$$

Расчет размера отстойника.

Для объемной производительности отстойника справедливо соотношение

$$V_j = h_j F / \tau, \quad (5)$$

при этом высота отстойника связана со скоростью стесненного осаждения

$$h_j = W_{ст} \tau. \quad (6)$$

Из этих двух уравнений можно исключить время отстаивания τ .

$$V_j = W_{ст} F. \quad (7)$$

Таким образом, производительность отстойника зависит только от площади и скорости стесненного осаждения.

Обычно рассчитывают площадь отстойника

$$F = V_j / W_{ст} = G_j / \rho_j W_{ст} = (G_c / \rho_j W_{ст}) (X_{oc} - X_c) / (X_{oc} - X_j). \quad (8)$$

При расчете скорости стесненного осаждения используют критериальное уравнение $Re = W_{ст} d \rho / \mu = Ar \varepsilon^{4,75} / [18 + 0,61 \sqrt{Ar \varepsilon^{4,75}}]$, (9)

где $Ar = [(d^3 \rho^2 g / \mu^2) (\rho_f - \rho) / \rho]$ - критерий Архимеда;

$$\varepsilon = 1 - q; q = X_c \rho_c / \rho_f; \rho_c = 1 / [(X_c / \rho_f) + (1 - X_c) / \rho_j]; \mu_c = \mu_j (1 + 4,5 q).$$

Для частиц неправильной формы надо умножать скорость $W_{ст}$ на коэффициент формы частиц ϕ ($\phi = 0,77$ - округлые; $\phi = 0,66$ - угловатые; $\phi = 0,58$ - продолговатые; $\phi = 0,43$ - пластинчатые).

Расчет производительности отстойника непрерывного действия с наклонными полками (начальный радиус конусов - r , конечный - R , расстояние между полками - h , угол наклона полок к горизонту - α) основывается на приравнении времен пребывания $\tau_{проб}$ и отстаивания $\tau_{отст}$.

$$\tau_{проб} = V n \rho / G = \pi(R^2 - r^2) h \rho n / G \sin \alpha, \quad (10)$$

$$\tau_{отст} = h / W_{ст} \sin \alpha. \quad (11)$$

$$\text{В итоге } G = W_{ст} \pi(R^2 - r^2) \rho n. \quad (12)$$

Все это упрощенно, т.к. не учитывается

-застойные зоны и вихреобразование;

-переменность скорости отстаивания, т.к. меняется ε .

Расчет фузоловушки для первичной очистки прессового растительного масла сводится к определению ее размеров при допущении, что все масло находится, в прямоугольной части ванны. Такое допущение правомерно потому, что коэффициент заполнения фузоловушки маслом принимается равным 0,4. При этом вместимость фузоловушки (в м³)

$$V=2,5 G\tau/\rho, \quad (13)$$

где G - выход масла в прессовом цехе, кг/ч; τ - продолжительность обработки масла в фузоловушке (τ = 0,5...1ч); ρ - плотность масла, кг/м³.

Одновременно вместимость (в м³)

$$V =LBH, \quad (14)$$

где L, B и H - соответственно длина, ширина и высота ванны, как правило, принимают H= 1,5...2,5 м, B =2...4м.

При известной вместимости фузоловушки высота ванны (в м)

$$H=V/(BL). \quad (15)$$

Расчетная мощность привода скребкового цепного механизма фузоловушки (в кВт)

$$N=(0,2...0,3)P_t v, \quad (16)$$

где P_t - тяговое усилие, равное 2500...4000 Н; v - скорость движения цепей со скребками, м/с.

Пример 1. Определите размеры фузоловушки для предварительной очистки 6,3 т/ч масла растительного в течение 1 ч при температуре 80 °С. Необходимая вместимость фузоловушки (в М³) V = 2,5 G τ / ρ,

где G - часовой выход масла в прессовом цехе (G = 6300 кг/ч); τ - продолжительность обработки масла в фузоловушке (τ = 1ч); ρ - плотность масла, при температуре 80°С равная 884 кг/м³. Таким образом, V = 2,5*6300*1/884 = 17,816 м³.

Принимаем высоту ванны H = 1,8 м, ширину ванны B = 2,5 м. Длина ванны

$$L = V / (BH) = 17,816 / (2,5 * 1,8) = 3,96 \text{ м.}$$

Принимаем L = 4 м.

ЗАДАЧИ:

Задача 1. Найдите размеры фузоловушки, предназначенной для предварительной очистки соевого масла при часовом выходе масла в прессовом отделении 5160 кг, продолжительности обработки масла в фузоловушке 0,8 ч и температуре масла 82°С.

Задача 2. Определите, подходит ли для очистки 120 т/сут подсолнечного масла фузоловушка, имеющая размеры L*B*N=4,5*1,6*2 м, если температура масла 84°С.

Расчеты гидроциклонов.

В ряде случаев (например, для предварительной грубой очистки мисцеллы от частиц шрота) перспективно применение гидроциклонов.

Внутренний диаметр цилиндрической части гидроциклона (в м)

$$d=1,66\alpha^{0,143}V^{0,715}/p^{0,36}, \quad (17)$$

где α - угол конусности нижней части гидроциклона (обычно α = 10...20°); V - заданная производительность гидроциклона по суспензии, м³ /ч; p - давление на входе суспензии в гидроциклон (p = 5*10⁴...3*10⁵ Па = 0,05...0,3 МПа).

У гидроциклонов с диаметром цилиндрической части от 10 до 500 мм диаметр патрубка для подачи суспензии (в м)

$$d_1=(0,13...0,32)d; \quad (18)$$

диаметр верхней насадки для вывода осветленной жидкости (в м)

$$d_2=(0,21...0,37)d; \quad (19)$$

диаметр нижней насадки для вывода сгущенной массы (взвесей)

$$d_3=(0,06\dots0,13)d. \quad (20)$$

Глубина входа верхней насадки в корпус гидроциклона (в м)

$$h_1=(0,5\dots0,8)d. \quad (21)$$

Патрубок для подачи суспензии, устанавливаемый тангенциально под углом 4° к горизонту, может изготавливаться и прямоугольного сечения со следующим отношением ширины a к высоте h : при d до 30 мм - от 0,4 до 0,6; при $d = 80\dots150$ мм - от 0,25 до 0,4; при $d > 150$ мм - от 0,15 до 0,33.

Во избежание забивания патрубка для подачи суспензии

$$a > 5x, \quad (22)$$

x - размер наиболее крупной отделяемой частицы, мм.

Задача 3. Рассчитайте основные размеры гидроциклона по следующим исходным данным:

α , град	10	15	18	15	20	16	13	18
$V_M^3/\text{ч}$	5,5	8,1	10,4	6,3	14,4	4,7	7,9	9,2
p , МПа	0,2	0,1	0,08	0,15	0,3	0,25	0,1	0,2

Расчет фильтров.

Производительность фильтра по фильтрату

$$V_{\phi} = w_{\phi} F_{\phi} K_{\phi} K_M, \quad (23)$$

где w_{ϕ} - средняя скорость фильтрации за весь цикл обработки суспензии на фильтре; F_{ϕ} - поверхность фильтрации фильтра, м^2 ; K_{ϕ} - коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления фильтровальной перегородки при многократном ее использовании, $K_{\phi} = 0,8$; K_M - коэффициент масштабного перехода с лабораторной модели на промышленный фильтр, а также учет возможного колебания свойств промышленной суспензии. $K_M = 0,7-0,9$.

Пересчет на производительность по суспензии

$$V_c = V_{\phi}(1 + X_o), \quad (24)$$

где X_o - отношение объема отфильтрованного осадка к объему полученного фильтрата.

Средняя скорость фильтрации за весь цикл обработки суспензии на фильтре

$$W_{\phi} = V_{\phi} / [(\tau_{oc} + \tau_{всп}) F], \quad (25)$$

где V_{ϕ} - объем фильтрата за τ_{ϕ} , м^3 ; $\tau_{oc} = \tau_{\phi} + \tau_{пр} + \tau_c$ -- основное время фильтрации, оно включает τ_{ϕ} - время фильтрации, $\tau_{пр}$ - время промывки, τ_c - время сушки; $\tau_{всп}$ - время на вспомогательные операции промышленного фильтра.

Основное уравнение фильтрации (уравнение Рута - Кармана):

$$dV_{\phi,уд}/d\tau_{\phi} = \Delta P / [\mu (r_o h_{oc} + r_{\phi,л})], \quad (26)$$

т.к. $h_{oc} = x_o V_{\phi,уд}$, то

$$dV_{\phi,уд}/d\tau_{\phi} = \Delta P / [\mu (r_o x_o V_{\phi,уд} + r_{\phi,л})]. \quad (27)$$

Режимы работы фильтра:

1. $\Delta P = \text{const}$, что обеспечивается присоединением фильтра к линии вакуума или сжатого газа.
2. $v_{\phi,уд} = V/F = \text{const}$, что обеспечивается подачей суспензии насосами объемного типа (поршневым, шестеренчатым).
3. $\Delta P = \text{var}$, $v_{\phi,уд} = \text{var}$, когда суспензия подается ц/б насосом.
4. Вначале $v_{\phi,уд} = \text{const}$, затем $v_{\phi,уд} = \text{var}$, что обеспечивается объемным насосом и байпасированием части суспензии по достижении максимально допустимого ΔP .
5. $v_{\phi,уд} = \text{const}$ и $\Delta P = \text{const}$ при промывке осадка чистой жидкостью.

Расчет фильтров периодического действия.

Время цикла

$$\tau_{ц} = \tau_{ос} + \tau_{в}, \tau_{ц} = \tau_{ф} + \tau_{пр} + \tau_{с} + \tau_{в}. \quad (28)$$

Приближенно, определяется экспериментально $\tau_{с} = 60 - 180$ с.

$\tau_{в} = f$ (конструкции фильтра, его размеров).

$\tau_{ф}$ берется по нормативам для обеспечения оптимального режима на максимум.

Для случая когда можно пренебречь сопротивлением фильтровальной перегородки ($r_{ф.л} = 0$) оптимум при $\tau_{в} = \tau_{ос}$.

Для более сложного случая $r_{ф.л} \neq 0$ максимум производительности достигается при

$$\tau_{ф}^{\circ} = [b_1(\tau_{с} + \tau_{в}) / (b_1 + N_{пр} x_0)] [1 + 2V_0 \sqrt{(b_1 + N_{пр} x_0) / (\tau_{с} + \tau_{в})}], \quad (29)$$

где $b_1 = \mu r_0 x_0 / (2 \Delta P)$; $V_0 = r_{ф.л} / r_0 x_0$; $N_{пр} = v_{пр.ж} \rho_{ос} r_0 x_0 \mu_{пр} / \Delta P_{пр}$ индекс пр относится к промывной жидкости и время промывки.

$$\tau_{пр} = (N_{пр} h_{ос} / x_0) (h_{ос} + x_0 V_0). \quad (30)$$

Если промывка не производится, то

$$\tau_{ф}^{\circ} = (\tau_{с} + \tau_{в}) + 2V_0 \sqrt{b_1(\tau_{с} + \tau_{в})}. \quad (31)$$

Толщина осадка за время фильтрации

$$h_{ос} = x_0 \sqrt{v^2_0 + \tau_{ф} / b_1} - x_0 V_0. \quad (32)$$

Для случая $v_{ф.уд} = const$

$$v_{ф.уд} / \tau_{ф} = \Delta P_d / [\mu(r_0 x_0 v_{ф.уд} + r_{ф.л})], \quad (33)$$

где ΔP_d - допустимый перепад давления.

Обозначим

$$W_{ф} = v_{ф.уд} / \tau_{ф}; \tau_{ф} = (\Delta P_d - \Delta P_0) / (\mu r_0 x_0 W_{ф}^2); \Delta P_0 = \mu r_{ф.л} W_{ф}; v_{ф.уд} = (\Delta P_d - \Delta P_0) / (\mu r_0 x_0 W_{ф}).$$

Для оптимальной производительности за цикл

$$W_{ф} = [\Delta P_d \sqrt{(\mu r_0 x_0 / \Delta P_d + N_{пр} x_0)}] / [\mu(r_{ф.л} \sqrt{\mu r_0 x_0 / \Delta P_d + N_{пр} x_0}) + r_0 x_0 \sqrt{(\tau_{с} + \tau_{в})}]. \quad (34)$$

Толщина осадка

$$h_{ос} = x_0 v_{ф.уд} \quad (35)$$

Предельная толщина осадка

$$h_{ос1} = x_0 (\Delta P_d + \Delta P_0) / (\mu r_0 x_0 W_{ф}). \quad (36)$$

Если $h_{ос1} > h_{ос}$, то фильтр все время работает в режиме $W_{ф} = const$ и $\tau_{ф1} = h_{ос} / x_0 W_{ф}$. Если $h_{ос1} < h_{ос}$, то по достижении $h_{ос1}$ дальше процесс идет при $\Delta P_d = const$, что поддерживается байпасированием

$$\tau_{ф} = \tau_{ф1} + \tau_{ф2}; \tau_{ф2} = \{b_1 h_{ос2} [h_{ос2} + 2x_0 (V_{ф1} + V_0)]\} / X_0^2; \quad (37)$$

где $h_{ос2}$ - высота осадка, полученная в режиме $\Delta P_d = const$.

$$h_{ос2} = h_{ос} - h_{ос1}; \quad (38)$$

$$V_0 = r_{ф.л} / (r_0 x_0); \quad (39)$$

$V_{ф1}$ - получена в режиме $w_{ф} = const$.

$$V_{ф.уд} = V_{ф1} + V_{ф2}; \quad (40)$$

$$V_{ф2} = h_{ос2} / x_0. \quad (41)$$

Оптимальный режим при комбинации $w_{ф} = const$ и $\Delta P_d = const$ при отсутствии промывки

$$\tau_{ф}^{\circ} = (\tau_{с} + \tau_{в}) + (\tau_{ф.л} + r_0 x_0 v_{ф.1}) \sqrt{2(\tau_{с} + \tau_{в}) \mu / \Delta P_d r_0 x_0}. \quad (42)$$

На практике максимум производительности бывает не достижим из-за конструктивных ограничений на высоту слоя осадка. Максимум по Q не совпадает с максимумом экономической эффективности, т.к. не учитывает эксплуатационные расходы.

Приняв в качестве критерия - прибыль

$$\tau_0^o = \tau_b \text{Ц}_b / \text{Ц}_o, \quad (43)$$

где Ц_o и Ц_b - соответственно стоимость единицы времени основной и вспомогательной части цикла.

Практически экономически выгодно когда $\tau_\phi = (4-6) \tau_b$.

Объем фильтрата, получаемого на фильтр-прессах (в м^3)

$$V = 990,5kA \sqrt{p \tau/\mu}, \quad (44)$$

где k - коэффициент фильтрации, равный для растительных масел 0,00015-0,0002;

A - площадь поверхности фильтрации, м^2 ; p - давление в фильтр-прессе ($p = 0,04 \dots 0,06$ МПа); τ - продолжительность фильтрации, ч; μ - динамический коэффициент вязкости масла при температуре фильтрации, Па с.

Производительность фильтров периодического действия (в $\text{м}^3/\text{с}$)

$$Q = V/\tau, \quad (45)$$

где V - объем фильтруемого продукта, м^3 ; τ - продолжительность одного цикла фильтрования, с.

Необходимое число фильтров

$$n = Q/[(a - 2b)^2 v z], \quad (46)$$

где a - ширина квадратной плиты, м; b - ширина контактирующей поверхности плиты, м; v - скорость фильтрования, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{с})$; z - число плит в одном фильтре.

Пример 2. Определите количество фильтр-прессов, необходимое для установки в прессовом отделении маслозавода, перерабатывающего 340 т семян подсолнечника в сутки. Выход форпрессового товарного масла составляет 37,53 %. Площадь фильтрующей поверхности одного фильтр-пресса $A = 40$ м, время его работы - 21 ч в сутки. Удельная производительность фильтр-пресса 60 кг масла в час с 1 м^2 фильтрующей поверхности, фильтрация - горячая.

Количество масла, подаваемого на фильтрацию,

$$G = 340 * 0,3753 = 127,6 \text{ т/сут.}$$

Производительность фильтр-пресса

$$G_{\text{пр}} = 60 * 40 * 21 = 50400 \text{ кг/сут} = 50,4 \text{ т/сут.}$$

Количество фильтр-прессов

$$n = G/G_{\text{пр}} = 127,6/50,4 = 2,53 \text{ шт.}$$

Принимаем к установке три фильтр-пресса.

Или

$$G_{\text{пр}} = V_{\text{р}} = 990,5kA_{\text{р}} \sqrt{p \tau/\mu},$$

Принимаем $k = 0,00017$; $p = 898 \text{ кг/м}^3$ и $\mu = 0,0153$ Па с при температуре 60°C ; $p = 0,05$ МПа. Тогда

$$G_{\text{пр}} = 990,5 * 0,00017 * 40 * 898 \sqrt{0,05 * 21 / 0,0153} = 50105,9 \text{ кг} = 50,106 \text{ т.}$$

$$n = 127,6 / 50,106 = 2,547.$$

Принимаем к установке три фильтр-пресса.

Задача 4. Определите число фильтр-прессов, необходимое для обработки 87,6 т/сут масла подсолнечного при площади поверхности фильтрации одного фильтр-пресса 32 м^2 , температуре масла 25°C , продолжительности процесса 21 ч и давлении в фильтр-прессе 0,06 МПа.

Расчет фильтров непрерывного действия.

Расчет производительности

$$V_\phi = w_{\text{ц}} F_\phi K_\Pi K_M, \quad (47)$$

где $w_{ц} = V_{ф.уд} / \tau_{ц}$; $\tau_{ц}$ соответствует времени одного оборота барабана, или диска, или прохождения ленты в ленточном фильтре.

Непрерывно-действующие фильтры работают при $\Delta P = const$. поэтому

$$\tau_{ф} = (\mu_{гв} x_{в} h_{oc} / 2\Delta P x_0 (h_{oc} + x_0 V_0)), \quad (48)$$

$$\tau_{пр} = (N_{пр} h_{oc} / x_0) (h_{oc} + x_0 V_0). \quad (49)$$

Кроме производительности в задачу расчета входят

а) определение скорости движения фильтровальной поверхности, обеспечивающей $\tau_{ц}$;

б) разбивка поверхности фильтра на технологические зоны. Расчет требуемой поверхности ведется в 2 этапа:

1) определяется общая ориентировочная $F_{ф}$ (отсюда число фильтров и их типоразмер);

2) уточняется производительность выбранного фильтра и их количество.

Исходные данные включают: $h_{oc} = (1,5-2) h_{min}$, последняя берется из таблиц.

Расчет барабанного фильтра с наружной фильтрующей поверхностью.

Строится схема распределения технологических зон на барабане.

Этапы расчета фильтра:

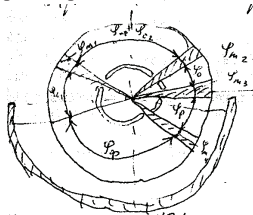
1) определяется общая ориентировочная площадь фильтрования и выбирается типоразмер фильтра;

2) проводится расчет производительности выбранного фильтра и их количество.

$$\tau_{ф} = (\mu_{гв} x_{в} h_{oc} / 2\Delta P x_0 (h_{oc} + x_0 V_0)),$$

угловая скорость вращения барабана $\omega = \omega_{ф} \pi / \tau_{ф} \cdot 180$

ориентировочно $\tau_{ц} = 2\pi / \omega$; $n = 1/\tau_{ц}$, c^{-1} ;



$$F_{об} = V_{об} \tau_{ц} / (V_{ф.уд} K_n); V_{ф.уд} = h_{oc} / x_0.$$

Окончательно угловую скорость берут наименьшей из

$$\omega_1 = \omega_{ф} \pi / \tau_{ф} \cdot 180$$

или

$$\omega_2 = [(\omega_{пр} + \omega_{с2}) / (\tau_{пр} + \tau_{с2})] (\pi / 180)$$

По каталогу выбирают $F_{об}$ (одного или нескольких фильтров). Если n не соответствует каталогу, то изменяют h_{oc} , либо берут другие фильтры. Время промывки

$\tau_{пр} = (N_{пр} h_{oc} / x_0) (h_{oc} + x_0 V_0)$ и уточняется $\tau_{пр} = k \tau_{пр}$, запас $k = 1,05-1,2$.

Расчет дискового фильтра.

Особенность $\varphi_{ф} = f(R_j)$, наименьшее $\varphi_{фв}$ на $R_{в}$.

$$W_{цв} = n V_{ф.уд} = n [\sqrt{(V_0^2 + \tau_{фв}^2 / b_1)} - V_0], \quad (50)$$

где n - частота вращения диска, c^{-1} .

Этапы расчета:

1) определить ориентировочно поверхность фильтрации исходя из $W_{цв}$ по внутреннему радиусу $R_{в}$;

2) определить производительность фильтра и скорость вращения диска

$$\varphi_{фв} = \arccos h / R_{в} + 0,5 \psi_n - \varphi_2,$$

где $h = R_n \cos(\psi_n / 2)$ - расстояние от центра диска до уровня суспензии;

ψ_n - угол погружения;

$\varphi_2 = \psi_n - \varphi_{ф-н}$ - угол сектора мертвой зоны;

$$R_{в} = \sqrt{(R_n^2 - F_{ф} / 2 \pi Z_{д})};$$

$Z_{д}$ - число дисков;

Производительность одного диска $V_{ф.д} = (R_n - R_b) [2\pi (R_n w_{н.н} + R_b w_{и.в})]$. (51)

Производительность фильтра $V_{ф} = V_{ф.д} Z_{д} K_{п}$. (52)

Время фильтрации

$\tau_{ф.в} = (\mu r_v X_v h_{ос} / 2 \Delta P X_0) (h_{ос} + X_0 V_0)$

$n_1 = (\varphi_{ф-н} / (\tau_{ф.в} 360))$, обычно $\varphi_{ф-н} = 105 - 108^\circ$.

По каталогу определяется марка фильтра (уточняется n) и их количество.

$\tau_{ф.н} = \varphi_{ф-н} / (360 n)$

$\varphi_{ф-н}$ - угол фильтра по наружному радиусу;

Расчеты центрифуг

Если обобщить расчет производительности отстаивания в различных центрифугах уравнением

$$Q = w \Sigma \eta, \quad (53)$$

то для осветляющей трубчатой центрифуги при относительно малом слое жидкости

$$\Sigma = \pi H (d_{рт} - h)^2 \omega^2 / 2q, \quad (54),$$

где $h = r_{рт} - r_{ж}$.

для осветляющей трубчатой центрифуги при значительном слое жидкости

$$\Sigma = \pi H (r_{рт}^2 - r_{ж}^2) \omega^2 / q \ln (r_{рт} / r_{ж}), \quad (55)$$

для горизонтальных центрифуг с коническим ротором

$$\Sigma = \pi \omega^2 L r_{ж}^2 / g, \quad (56)$$

для сепараторов с коническими тарелками с углом наклона тарелки к оси конуса α и числом тарелок в роторе z .

$$\Sigma = 2\pi \omega^2 z (r_n^2 - r_b^2) / (3gtg\alpha), \quad (57)$$

для центрифуг с цилиндрической и конической частями ротора горизонтального

$$\Sigma = 2\pi \omega^2 L_{ц} r_{рт}^2 / g + \pi \omega^2 L_{к} r_{рт} (r_{рт}^2 + 3r_{рт} r_1 + 4r_1^2) / (8g). \quad (58)$$

Производительность отстойной центрифуги непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка (в m^3/c)

$$Q = 0,00096 D^2 L (\rho - \rho_c) d^2 n^2 / \mu, \quad (59)$$

где D и L - диаметр и длина сливного цилиндра, м; ρ и ρ_c - плотность частиц и среды, kg/m^3 ; d - наименьший диаметр осаждаемых частиц, м; n - частота вращения ротора, min^{-1} ; μ - динамический коэффициент вязкости среды, Па·с.

Для фильтрующих центрифуг (только для самой фильтрации без отжима)

$$Q = k_c \Sigma, \quad (60)$$

где $k_c = k \rho_{ж} / \mu$ - сопротивление фильтрованию, м/с;

k - коэффициент проницаемости фильтровальной перегородки, m^2 ;

$\rho_{ж}$ - kg/m^3 и μ - Па·с

Для фильтрующих центрифуг с цилиндрическим ротором

$$\Sigma = \pi L_{ц} (r_{рт}^2 - r_{ос}^2) \omega^2 / [g \ln(r_{рт} / r_{ос})]. \quad (61)$$

Для фильтрующих центрифуг с коническим ротором

$$\Sigma = \pi \omega^2 L_{к} r_{сп}^2 / 2g, \quad (62),$$

где $r_{сп} = (r_{рт} + r_1) / 2$

Затраты мощности (в кВт) определяются по составляющим

1) пуск

$$N_{п} = J \omega^2 / (2 * 10^3 t_{п}), \quad (63)$$

где J - суммарный момент инерции относительно оси вращения, $kg m^2$;

$t_{п}$ - время пуска, с.

2) сообщение кинетической энергии жидкой фазе

$$N_{ж} = \psi (\alpha - \beta) \rho_{ж} \omega^2 V_{ж} r_{сл} / (2 * 10^3 t_3), \quad (64)$$

где $\psi = (r_{рт}^2 - r_{сл}^2) / r_{рт}^2$ - коэффициент заполнения ротора;

$\alpha = (\rho_t - \rho_c) / (\rho_t - \rho_{ж})$; $\beta = (\rho_t - \rho_o) / (\rho_t - \rho_{ж})$;

$V_{ж}$ - жидкостный объем ротора;

t_3 - время заполнения жидкостного объема.

3) сообщение кинетической энергии твердой фазе

$$N_T = (2 - \psi) \psi_1 \omega^2 Fr m_T r_{рт} / (2 * 10^3 t_3), \quad (65)$$

где ψ_1 - коэффициент заполнения жидкостного объема ротора;

m_T - масса твердой фазы, кг.

4) сопротивление ротора о воздух

$$N_B = c \rho_B L \omega^2 R_n, \quad (66)$$

$$c = 12,0 * 10^{-6}$$

5) трение в подшипниках

$$N_{под} = f(P_1 d_1 + P_2 d_2) / (2 * 10^3), \quad (67)$$

где f - коэффициент трения в подшипниках;

P_1 и P_2 - динамические нагрузки на подшипники $P = P_{ст} (1 + 2 * 10^{-3} \omega^2 r_{рт} / g)$

d_1 и d_2 - \varnothing цапф валов под подшипниками.

Мощность двигателя в период пуска

$$N_{пуск} = N_n + N_B + N_{под}. \quad (68)$$

Мощность рабочего периода

$$N_p = N_{ж} + N_T + N_B + N_n. \quad (69)$$

Мощность привода жидкостного сепаратора (в кВт)

$$N = (0,0005 \dots 0,00055) H n^3 D^4, \quad (70)$$

где H - высота барабана, м; n - частота вращения барабана, c^{-1} ; D - наружный диаметр барабана, м.

Особенности расчета центрифуг периодического действия

Средняя объемная производительность как для фильтрующей, так и отстойной центрифуги периодического действия

$$V_{с.ср} = (v_c / \tau_{ц}) K_n = (v_p \varphi / \lambda_1 \tau_{ц}) K_n. \quad (71)$$

где v_c - объем суспензии обработанной за цикл, m^3 ;

$\tau_{ц}$ - время полного цикла, с;

K_n - коэффициент, учитывающий возрастание сопротивления фильтровальной перегородки при многократном ее использовании ($K_n = 0,8$);

v_p - рабочий объем барабана центрифуги, m^3 ;

φ - коэффициент заполнения центрифуги осадком (для малосжимаемых осадков $\varphi = 0,7-0,8$; для сильносжимаемых φ устанавливается экспериментально);

λ_1 - отношение объема образовавшегося осадка к объему отфильтрованной суспензии.

$$v_p = \pi (D_B^2 - D_б^2) L / 4, \quad (72)$$

где D_B - внутренний диаметр барабана;

$D_б$ - диаметр борта барабана.

Время полного цикла для фильтрующих центрифуг

$$\tau_{ц} = \tau_{ф} + \tau_{пр} + \tau_{с} + \tau_{в} \quad (73)$$

где $\tau_{ф}$ - время фильтрации включает τ_3 загрузки и фильтрации до исчезновения жидкости над слоем;

$\tau_{пр}$ - время промывки;

$\tau_{с}$ - время сушки;

$\tau_{в}$ - время вспомогательных операций (разгон, торможение, выгрузка осадка, регенерация фильтрующей поверхности).

Для центрифуг ФМ $\tau_{разгона-торможения} = 200 - 300$ с; $\tau_{выгрузки осадка} = 300 - 900$ с.

Допустимое число циклов в час не более четырех.

Для центрифуг ФГН $\tau_b = 60 - 120$ с.

Для центрифуг ФПД - 120 и ФПН - 100 $\tau_b = 200 - 300$ с и $\tau_{ц\text{ min}} = 600$ с.

Для центрифуг ФПС - 120 и ФПН - 120 $\tau_b = 125 - 200$ с и $\tau_{ц\text{ min}} = 230$ с.

Время полного цикла для отстойных центрифуг

$$\tau_{ц} = \tau_3 + \tau_{от} + \tau_b, \quad (74)$$

где $\tau_3 = (V_p \varphi / x_1 V_c)$ - время загрузки и обработки суспензии;

$\tau_{от}$ - время отсоса жидкости над осадком;

τ_b - время вспомогательных операций.

Для ОГН $\tau_{от} = 60 - 120$ с и $\tau_b = 120 - 240$ с.

Расчет п/б процесса фильтрации сжимаемых осадков.

Наиболее распространен режим $V_c = \text{const}$ при загрузке.

$V_{с.п} = V_{с.м} F_{ф.п} / F_{ф.м}$, где индекс п - промышленная и м - модельная.

$\tau_{ф.п} = \tau_{ф.м} (h_{ос.п} / h_{ос.м}) k_1$, где k_1 - коэффициент масштабного перехода (зависит от сжимаемости осадка) $k_1 = 1,5 - 2$.

$$h_{ос.п} = V_p \varphi / F_{ф.п} = V_p \varphi / (\pi D_b L),$$

$$V_{с.п} = V_p \varphi / (x_1 \tau_{ф.п}),$$

$\tau_{пр.п} = \tau_{пр.м} (h_{ос.п} / h_{ос.м}) k_1$, где k_1 - коэффициент масштабного перехода $k_1 = 1,0 - 1,5$).

$\tau_{с.п} = \tau_{с.м} k_3$, где k_3 - коэффициент масштабного перехода ($k_3 = 1,0 - 1,4$).

Расчет п/б процесса фильтрации малосжимаемых осадков.

В режиме фильтрации $V_c = \text{const}$.

$$v_{ф} / \tau_{ф} = V_{ф} = \Delta P_{ц} F_{ф} / [\mu (r_o h_o + r_{ф.п})] = \Delta P_{ц} F_{ф} / [\mu (r_o v_{ос} / F_{ф} + r_{ф.п})],$$

$$\Delta P_{ц} = \rho_{ж} \omega^2 D_b V_p \varphi / 2 F_{ф},$$

$$V_c = V_{ф} (1 - x_1),$$

$$\text{тогда } V_{ф} = \rho_{ж} \omega^2 D_b V_p \varphi F_{ф} / [2 \mu (r_o v_{ос} + r_{ф.п} F_{ф})],$$

$$V_c = \rho_{ж} D_b V_p \varphi F_{ф} / [2 \mu (r_o v_{ос} (1 - x_1) + r_{ф.п} F_{ф} (1 - x_1))],$$

$$\tau_{ф} = [2 r_{ф.п} \mu / \rho_{ж} \omega^2 D_b] + [(\rho_{ж} \omega^2 D_b V_p \varphi F_{ф} - 2 r_{ф.п} \mu F_{ф} V_c) / (2 \mu r_o x_1 V_{ф} V_c)],$$

$$\tau_{пр} = [2 v_{пр.ж} V_p \varphi (1 - \epsilon_{ос}) \mu_{пр} r_o / \rho_{ж} \omega^2 D_b F_{ф}].$$

Средняя за цикл

$$V_{с.ср} = V_c \tau_{ф} / \tau_{ц}.$$

Для непрерывно действующих центрифуг определяют требуемую поверхность

$$P_{фп} = P_{фм} V_{сп} / V_{сп}$$

и делается проверка пропускной способности по осадку при шнековой выгрузке

$$G_{т.п} = G_{тм} D_{в.п}^3 / D_{в.м}^3,$$

при пульсирующей выгрузке

$$G_{т} = \psi \pi D_{в1} h_{ос1} \rho_{т} (1 - \epsilon_{ос}) n_{т} \Delta l,$$

где ψ - коэффициент прессируемости осадка (для кристаллического осадка $\psi = 0,5 - 0,7$); $D_{в1}$ - диаметр 1-го каскада; $h_{ос1}$ - слой 1-го каскада; $n_{т}$ - число двойных ходов толкателя; Δl - длина хода толкателя.

Задача 5. Определите производительность горизонтальной шнековой центрифуги, ротор которой вращается с частотой 2600 мин^{-1} . Плотность осветляемой среды 1055 кг/м^3 . Диаметр и длина цилиндра составляют соответственно $0,3$ и $0,65$ м. Остальными величинами задайтесь.

Задача 6. Рассчитайте мощность привода жидкостного сепаратора, барабан которого вращается с частотой 5400 мин^{-1} . Диаметр барабана $0,6$ м, высота $0,25$ м.

Оборудование для разделения протиркой плодово-ягодных масс

Производительность протирочной машины (в кг/с)

$$Q = (0,0011 \dots 0,0015) L^2 R n \varphi, \quad (75)$$

где L - длина бича, м; R - радиус ротора ($R = 0,1 \dots 0,2$ м); n - частота вращения ротора, мин^{-1} ; φ - живое сечение сита, %.

При диаметре отверстий в сите 0,4 мм $\varphi = 13,4$ %, при 0,8 мм - 23, при 1,2 мм - 27, при 3 мм - 37 %.

Для скоростных протирочных машин (типа А9-КИГ и подобных ей)

$$Q = (0,0015 \dots 0,004) L^2 R n \varphi \quad (76)$$

Производительность Q (в кг/с) протирочных машин можно определить по другому

$$Q = z L^2 r_{cp} n F_c / 3600, \quad (77)$$

или для машин, бичи которых установлены с некоторым углом опережения

$$Q = 2 \cdot 10^{-5} D L^2 n F_c / \text{tg} \alpha, \quad (78)$$

где z - количество рабочих бичей, шт.; L - длина бича, м; r_{cp} - средний радиус сита или бичей, м; n - частота вращения ротора, об/мин; F_c - живое сечение сита, %, D - диаметр барабана протирочной машины, м; α - угол опережения бичей, град.

или

$$Q = 2 \cdot 10^{-5} L^2 D n \varphi / \text{tg} \beta, \quad (79)$$

где D - диаметр барабана, м; β - угол опережения бичей, град.

Окружную частоту вращения ротора или бичевого вала (в рад/с) ориентировочно можно определять по формуле

$$\omega = \sqrt{(kg/r_{cp})}, \quad (80)$$

где k - фактор разделения ($k = 200 \dots 300$); g - ускорение свободного падения, м/с^2 ;

r_{cp} - средний радиус бичей ($r_{cp} = 0,1 \dots 0,2$ м), или $\omega = (44,3 \dots 54,3) \sqrt{(1/r_{cp})}$

Зная, что $\omega = \pi n/30$, частоту вращения бичевого вала (в об/мин) можно также определять по формуле

$$n = (1329 \dots 1629) \sqrt{(1/r_{cp})} / \pi. \quad (81)$$

Живое сечение (в %) проволочных или штампованных сит можно определять по формуле

$$F_c = [d^2 / (d + \Delta)^2] 100, \quad (82)$$

где d - диаметр отверстия на поверхности сита, мм; Δ - толщина проволоки или перемычки между отверстиями, мм.

Длина зоны (в м), на которой происходит активное отделение жидкой фазы при протирании,

$$l_1 = r_{cp} 30,4 g_a^{0,29} k^{-0,53} z^{0,31}, \quad (83)$$

где g_a - безразмерная производительность; z - количество рабочих бичей, шт.

$$g_a = 0,0905 Q / [F_c F_c \rho r_{cp}^2 \sqrt{(r_{cp} g)}], \quad (84)$$

где F_c - живое сечение каркаса ситового барабана; F_c - живое сечение сита;

ρ - объемная плотность продукта, кг/м^3 .

При круглых отверстиях в каркасе $F_c = d_{от}^2 / a^2$, где $d_{от}$ - диаметр отверстия каркаса, [$d_{от} = (8 \dots 12) \cdot 10^{-3}$ м]; a - шаг отверстий каркаса [$a = (11 \dots 15) \cdot 10^{-3}$ м].

Расчетную длину зоны активного отделения жидкой фазы из конструктивных соображений увеличивают на 30 %. Длина зоны центробежного отжима (в м) у протирочных машин должна составлять $l_2 = 0,11 r_{cp}$, у финишера $l_2 = 0,115 r_{cp}$.

Длина ситового барабана (в м)

$$l_6 = l_1 + l_2. \quad (85)$$

Диаметр загрузочного патрубка (в м) у протирочной машины

$$d_{п} = \sqrt{(4Q / \pi v_{п})}, \quad (86)$$

где $v_{п}$ - скорость перемещения продукта по подающей трубе, м/с. Обычно ее принимают в пределах 0,5...1 м/с.

Или по другому, диаметр трубопровода (в м) для подачи протираемой массы в машину

$$d=1,12\sqrt{[Q/(\rho v)]}, \quad (87)$$

где Q - производительность машины, кг/с; ρ - плотность протираемой массы, равная 1020...1100 кг/м³; v - скорость движения массы в трубе (v=0.5...1 м/с).

Установочная мощность электродвигателя (в кВт) протирочной машины

$$N_{зд}=(N_1+N_2+N_3)k_1/\eta, \quad (88)$$

где N_1 - мощность, затрачиваемая на перемещение продукта, кВт; N_2 - мощность, необходимая для преодоления сопротивления трения о поверхность сита, кВт; N_3 - мощность, необходимая для измельчения продукта, кВт; k_1 - коэффициент запаса мощности ($k_1 = 1,25...1,5$); η - общий КПД привода.

$$N_1=0,5 Q^* r_{cp}^2 * 10^{-3} \quad (89)$$

$$N_2 = z m \omega^3 r_{cp}^2 f 10^{-3}, \quad (90)$$

$$N_3 = Q W F_1 10^{-3} \quad (91)$$

где m - масса сырья, которая вращается совместно с бичом, кг; f - коэффициент трения продукта о поверхность сита (для протирочных машин f= 0,2...0,9; для финишеров f = 0,4...0,6); W - удельная энергия, Дж/м² (для яблочного пюре W = 15...18,5 Дж/м²); F_1 - площадь вновь образованной поверхности при переработке 1 кг сырья, м²/кг.

Масса (в кг) сырья, вращающегося совместно с бичом,

$$m = \gamma \rho l_6 r_{cp}^2, \quad (92)$$

где γ - эмпирический коэффициент (для протирочных машин $\gamma = 0,5$, для финишеров $\gamma = 0,03$); l_6 - длина бича, м.

Площадь (в м²) вновь образованной поверхности при переработке 1 кг сырья

$$F_1 = [(2/\rho d_2) - (2/\rho d_1)] \Theta 10^{-3}, \quad (93)$$

где d_2 - средний размер частиц продукта после обработки, м (ориентировочно принимают $d_2 = 0,3 d_1$); d_1 - средний размер частиц продукта до обработки, м (принимается для расчета $d_1 = 1...1,5$ мм); Θ - содержание мякоти в продукте, % (для яблочного пюре $\Theta = 25...40$ %).

Или по другому, мощность электродвигателя для привода протирочной машины (в кВт)

$$N = Q w / \eta, \quad (94)$$

где w - удельная работа протирания, кДж/кг (w = 2...2,5 для помидоров и 1...1,3 для разваренных плодов).

Примечание. При определении мощности привода двухступенчатых протирочных машин найденное значение мощности привода первого ротора умножают на 1,5, при расчете трехступенчатых машин - на 1,75.

Пример 3. Рассчитать производительность протирочной машины, у которой диаметр ситового барабана D = 380 мм, длина бичей L = 800 мм, частота вращения бичевого вала n = 700 об/мин, живое сечение сита 16,5 %, а угол опережения бичей $\alpha = 1,5^\circ$.

Производительность протирочной машины (в кг/с) определяем по формуле (78)

Задача 7. Конический ротор протирочной машины имеет на входе продукта радиус 0,25 м, на выходе 0,3 м. Длина бича 0,75 м. Частота вращения ротора 825 мин⁻¹; Живое сечение сита составляет 17%. Определите производительность машины.

Задача 8. Сравните производительность двух протирочных машин с коническими роторами, если длина бича равна соответственно 0,75 и 0,85 м, частота вращения ротора 780 и 860 мин⁻¹, живое сечение сита 27 и 23%, радиус сита со стороны входа

продукта у обеих машин одинаков и составляет 0,15 м, а с противоположной стороны - 0,22 и 0,25 м.

Задача 9. Коническое сито протирочной машины имеет по торцам диаметры 0,32 и 0,42 м, его живое сечение 21%. Длина бича 0,8 м. Чему равно передаточное отношение клиноремной передачи при производительности машины 2,5 кг/с и частоте вращения вала электродвигателя 1440 мин⁻¹?

Задача 10. Протирочная машина имеет цилиндрический ротор диаметром 0,3 м, зазор между бичем и ситом равен 0,001 м. Длина бича 0,4 м. Частота вращения ротора 1600 мин⁻¹. При каком живом сечении сита производительность машины составит 4 кг/с?

Задача 11. Подберите значения диаметра и длины цилиндрического ротора протирочной машины по следующим данным: производительность машины 1,75 кг/с, частота вращения вала электродвигателя 1450 мин⁻¹, передаточное отношение клиноремной передачи равно 2, живое сечение сита 30%.

Задача 12. Вместо протирочной машины с цилиндрическим ротором диаметром 0,4 м и длиной 0,6 м установили другую, у которой длина бича 0,35 м, а диаметр ротора 0,3 м. В обоих случаях живое сечение сита составляет 26%. Частота вращения ротора в заменяемой машине 800 мин⁻¹, в новой - 1650 мин⁻¹. Зазор между бичем и барабаном 0,0015 м. Сравните производительность первой и второй машин.

Задача 13. Диаметр барабана протирочной машины равен 0,36 м, длина бича 0,5 м. Частота вращения ротора 820 мин⁻¹. Живое сечение сита 23%. Угол опережения бичей 2 град. Какова производительность машины?

Задача 14. При какой величине угла опережения производительность протирочной машины составит 1,91 кг/с, если диаметр ротора 0,38 м, зазор между бичем и барабаном 0,003 м, длина бича 0,8 м, частота вращения ротора 760 мин⁻¹, живое сечение сита 18%?

Задача 15. Рассчитайте мощность электродвигателя для привода протирочной машины производительностью 0,3 кг/с для случая, когда удельная работа протирания составляет 1,2 кДж/кг, а КПД привода 0,85.

Задача 16. На сколько больше минимальной расчетной величины мощность электродвигателя двояной протирочной машины 5,5 кВт, если частота вращения ротора 750 рад/мин, площадь живого сечения сита 23%, диаметр обоих барабанов 0,32 м, длина бича 0,45 м, КПД привода 0,9. Удельная работа протирания 2,1 кДж/кг.

Задача 17. Определите производительность протирочной машины, в которой установили штампованное сито с диаметром отверстий 1,5 мм и толщиной перемычки между отверстиями 1,0 мм. Частота вращения вала бича 11,66 об/с, длина бича 0,5 м, а его радиус 200 мм. В машине установлено 4 бича.

Задача 18. Какова будет производительность протирочной машины если с бичевого вала сняли один бич?

Задача 19. Диаметры сита протирочной машины на входе 400 мм, на выходе 450 мм; живое сечение составляет 25%. Бичевой вал вращается с угловой скоростью 68 рад/с и на нем установлено 5 бичей длиной по 0,65 м. Определите производительность этой машины.

Задача 20. Производительность протирочной машины 6000 кг/ч. Вычислите средний радиус бича для машины, имеющей живое сечение сита 20%, длину бича 0,75 м, угловую скорость вращения вала бича 52,33 рад/с. Количество работающих бичей на валу 5.

Задача 21. Производительность протирочной машины 4500 кг/ч, диаметр цилиндрического сита 450 мм. В машине на валу установлено 4 бича общей длиной 2,4 м. Живое сечение сита 30%. Рассчитайте частоту вращения бичевого вала машины.

Задача 22. Поверхность барабана протирочной машины перфорирована отверстиями диаметром 1,5 мм с расстоянием между центрами отверстий 2,5 мм; бичевой барабан снабжен четырьмя бичами длиной по 0,8 м. На приводе установлен электродвигатель с частотой вращения вала 750 об/мин, передаточное число привода 2,2. Вычислите диаметр ситового барабана для машины, имеющей производительность 5500 кг/ч.

Задача 23. Какова производительность протирочной машины, если живое сечение сита 30%, диаметр ситового барабана 0,45 м, длина бича 0,75 м, угол опережения бичей 2 град? На приводе установлен электродвигатель с угловой скоростью вращения вала 157 рад/с, передаточное число привода 3.

Задача 24. Определите, на сколько изменится мощность, расходуемая на сообщении продукту скорости движения, если частоту вращения ситового барабана уменьшить до 545 об/мин.

Задача 25. Рассчитайте мощность электродвигателя для привода протирочной машины производительностью 0,8 кг/с, если на валу установлены 4 бича длиной по 0,83 м, размер которых в диаметальной плоскости равен 300 мм. Плотность продукта принять равной 1080 кг/м³ со средним размером частиц до обработки 1,2 мм и содержанием мякоти 30%. Удельную энергию, затрачиваемую на образование 1 м² новой поверхности, принять равной 15 Дж/м², а коэффициент трения продукта о поверхность сита 0,3. Живое сечение сита 25%, КПД привода 0,9. Коэффициент запаса мощности 1,25.

Оборудование для разделения твердой и жидкой фазы отжимом

Рассмотрим вопросы расчета прессов в консервной промышленности.

Производительность гидравлического пресса периодического действия для отжима сока (кг в смену)

$$Q = 0,01 q A \tau / \tau_1, \quad (95)$$

где q - масса мезги в корзине или пакетах, кг; A - выход сока, %, τ - продолжительность смены, ч (с); τ₁ - продолжительность одного цикла прессования, ч (с), куда входит время загрузки, прессования и выгрузки материала.

При расчетах непрерывно-действующих одновинтовых прессов производительность (в кг/с)

$$Q = 0,013 (D^2 - d^2) S n \rho \varphi, \quad (96)$$

где D - наружный диаметр винта, м; d - внутренний диаметр винта (т. е. диаметр вала со ступицей), м; S - шаг первого витка, м; n - частота вращения винта, мин⁻¹; ρ - плотность прессуемой мезги, кг/м³; φ - коэффициент заполнения камеры прессования, равный 0,3...0,8.

При ориентировочных расчетах непрерывно-действующих двухвинтовых прессов используют упрощенную формулу производительности пресса (в кг/с):

$$Q = (4...6,9) \sqrt{(D_1^2 - d_1^2) (D_2^2 - d_2^2)} S_1 S_2 n_1 n_2, \quad (97)$$

Мощность привода винтовых (шнековых) прессов по яблочной мезге (в кВт)

$$N = 2,9 Q. \quad (98)$$

Мощность привода прессов типа ВПНД-10 и подобных ему (в кВт)

$$N = 1,22 + 20,7 p_k, \quad (99)$$

где p_k - давление в конце камеры прессования, равное 0,1...0,35 МПа.

Мощность электродвигателя для привода экстрактора, применяемого в линиях производства томатного сока (в кВт),

$$N = Qw/\eta, \quad (100)$$

где Q - производительность экстрактора, кг/ч; w - удельный расход энергии на отжим сока ($w = 0,0004...0,0005$ кВт·ч/кг); η - КПД привода.

Пример 4. Требуется рассчитать двухвинтовой (шнековый) пресс непрерывного действия для переработки 8 т/ч яблочной мезги.

Предварительно задаемся в рекомендуемых пределах рядом исходных' величин:

$$D_1 = D_2 = 0,6 \text{ м}; d_1 = 0,2 \text{ м}; d_2 = 0,25 \text{ м}; S_1 = 0,3 \text{ м}; S_2 = 0,25 \text{ м}; n_1 = 1,2 n_2$$

Производительность пресса (в кг/с)

$$Q = \Pi/3600 = 8000/3600 = 2,22 \text{ кг/с.}$$

Следовательно, по формуле (97)

$$2,22 = (4...6.9) \sqrt{[(0,6^2 - 0,2^2)(0,6^2 - 0,25^2) 0,3*0,25*1,2 n_2^2]},$$

$$\text{или после вычислений } 2,22 = (0,37...0,639) n_2,$$

$$\text{откуда } n_2 = 2,22/(0,37...0,639) = 3,48...6 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем $n_2 = 5,5 \text{ мин}^{-1}$.

При этом $n_1 = 1,2 n_2 = 1,2 * 5,5 = 6,6 \text{ мин}^{-1}$.

Мощность привода пресса по формуле (98)

На основании расчета выбираем электродвигатель мощностью 7,5 кВт.

Производительность шнекового пресса по мезге (подготовленному к прессованию масляному материалу)

$$Q = 47,1 D^2 L n (1 - \Psi) \rho_n (1 - K_v), \text{ т/час или кг/час} \quad (101)$$

где: D_3 - внутренний диаметр зеера на участке первого витка, м; L - длина первого витка, м; n - частота вращения шнекового вала, об/мин; Ψ - коэффициент заполнения объема зеера первым витком, равный обычно 0,29...0,45; ρ_n -объемная масса мезги, т/м или кг/м³; K_v - коэффициент возврата, зависящий от толщины жмыховой ракушки δ (в прессе типа ФП):

δ , мм	6,5	7	8	9	10	11	12
K_v	0,725	0,69	0,64	0,59	0,55	0,525	0,506

Коэффициент возврата в прессе типа ФП определяется эмпирическим уравнением

$$K_v = 2,15/\delta^{0,58}, \quad (102)$$

где δ - ширина выходной щели пресса, мм.

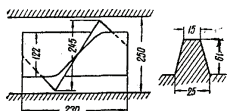
Пример 5. Определить максимальную производительность шнекового пресса по мезге, если диаметр зеера 145 мм, длина питательного витка 100 мм, коэффициент заполнения 0,8, а частота вращения шнекового вала $n = 20$ об/мин. Переработке подвергается подсолнечная мезга с объемной массой $\rho_n = 0,45 \text{ т/м}^3$.

Производительность пресса изменяется в зависимости от площади выходного отверстия, о котором судят по толщине ракушки. Примем максимальную ширину выходной щели $b = 12$ мм. При этой толщине ракушки производительность пресса будет наибольшая, а коэффициент возврата при этом равен $K_v = 0,50$. Тогда максимальная производительность пресса по формуле (101)

$$Q = 47,1 * 0,145^2 * 0,1 * 20 * (1 - 0,8) * 0,45 * (1 - 0,50) = 0,89 \text{ т/час.}$$

Пример 6. Определить коэффициент заполнения первого (питательного) витка форпресса типа ФП (см. рисунок).

Рисунок. Схема питательного витка прессы ФП.



Объем зерновой камеры

$$V = (\pi D_3/4) L = 0,785 * 2,5^2 * 2,3 = 11,3 \text{ л.}$$

Объем тела витка

$$V_{\text{ш}} = 0,785 * d_{\text{ш}}^2 * L = 0,785 * 1,22^2 * 2,3 = 2,69 \text{ л.}$$

Средний диаметр витка $D_{\text{ср}} = (122+245)/2 = 183,5 \text{ мм.}$

Средняя длина нитки $l_{\text{ср}} = \pi D_{\text{ср}} = 3,14 * 183,5 = 576 \text{ мм.}$

Общая длина нитки $l = \sqrt{l^2 + 1_{\text{ср}}^2} = \sqrt{308^2 + 576^2} = 653 \text{ мм}$

Действительная длина нитки $L_{\text{в}} = (683 * 300)/360 = 545 \text{ мм} = 54,5 \text{ см.}$

Площадь сечения нитки, рассматриваемая приближенно как трапеция,

$$F = (2,5 + 1,5) * 6,1/2 = 12,2 \text{ см}^2$$

Таким образом, объем нитки $V_{\text{в}} = L_{\text{в}} F = 5,45 * 1,22 = 0,83 \text{ л.}$

Объем, занимаемый витком, $V = V_{\text{ш}} + V_{\text{в}} = 2,69 + 0,83 = 3,52 \text{ л}$

Свободный объем $V_{\text{св}} = V - V = 11,3 - 3,52 = 7,78 \text{ л}$ "

Коэффициент заполнения $\psi = V'/V = 3,52/11,3 = 0,312;$ "

Степень сжатия мезги

$$\varepsilon = V_{\text{н}}/V_{\text{к}}, \quad (103)$$

где: $V_{\text{н}}$ - первоначальный объем мезги; $V_{\text{к}}$ - конечный объем мезги.

Пример 7. Имеющаяся мезга в объеме 6,3 л сжимается до объема 4,2 л. Определить степень сжатия мезги

$$\varepsilon = 6,3/4,2 = 1,5$$

Пример 8. В форпрессе «свободный объем» первого витка составляет $V_1 = 8,53 \text{ л}$, а последнего витка $V_n = 0,9 \text{ л}$. Определить теоретическую степень сжатия мезги шнековым валом

$$\varepsilon_{\text{ш}} = V_1/V_n = 8,53/0,9 = 9,5$$

Удельное давление (в МПа), действующее на мезгу при ее сжатии,

$$P = 2,52 b \varepsilon^{5,5} / e^{0,022 W}, \quad (104)$$

где: ε - степень сжатия мезги; W - влажность мезги, %; e - основание натуральных логарифмов; b - опытный коэффициент, зависящий от влажности и температуры мезги.

Температура, °C 80 90 100

Коэффициент b 0,00085 0,00100 0,00060

Пример 9. Подсолнечная мезга, выжаренная при температуре 90°, влажностью 3,5% сжимается до степени сжатия 4. Определить, какое удельное давление требуется для этого.

Зависимость между действующим давлением, влажностью и степенью сжатия мезги определяется эмпирическим уравнением

$$p = 2,52 * 0,001 * 4^{5,5} / e^{0,022 * 3,5} = 4,76 \text{ МПа.} \quad (104)$$

Изменение «свободного объема» витков по длине шнекового вала прессы ФП

$$V_i = V_1/n^{1,145}, \quad (105)$$

где: $V_1 = 7,78$ - свободный объем первого витка, л; V_i - свободный объем любого витка, л; n - порядковый номер витка на валу.

Теоретическая степень сжатия, создаваемая прессом типа ФП,

$$\varepsilon_{\text{тп}} = 10,2 \varepsilon_{\text{ш}}^{0,85}, \quad (106)$$

где: $\varepsilon_{шв}^T$ - теоретическая степень сжатия, создаваемая шнековым валом; δ - ширина выходной щели пресса, мм.

Действительная степень сжатия пресса типа ФП при его работе

$$\varepsilon_{пр}^{пр} = 0,97 [\varepsilon_{пр}^T - (21,8 - 1,16 \delta)], \quad (107)$$

где: $\varepsilon_{пр}^T$ - теоретическая степень сжатия, создаваемая прессом; δ - ширина выходной щели, мм.

Действительная степень сжатия на любом витке шнекового вала

$$\varepsilon_{пр}^B = [(\varepsilon_{т}^B - 1) / \dot{\nu}] + 1, \quad (108)$$

где: $\varepsilon_{т}^B$ - теоретическая степень сжатия на рассматриваемом витке; $\dot{\nu}$ - отношение теоретической степени сжатия в прессе к практической:

$$\dot{\nu} = (\varepsilon_{пр}^T - 1) / (\varepsilon_{пр}^{пр} - 1). \quad (109)$$

Пример 10. Определить «свободный объем» каждого витка шнекового вала пресса, а также определить теоретическую степень сжатия, создаваемую прессом, если свободный объем первого витка равен 9 л, а на валу предполагается установить 7 витков. Пресс работает при ширине выходной щели $\delta = 9$ мм.

Так как свободный объем первого витка равен 9 л, то уравнение (105) будет иметь вид:

$$V_i = 9 / n^{1,145}$$

Подсчитав по этой формуле величины свободных объемов, сведем их в таблицу.

№ витка	1	2	3	4	5	6	7
Свободный объем в л.	9,0	4,1	2,57	1,85	1,43	1,17	0,98

Степень сжатия, создаваемая шнековым валом $\varepsilon_{шв}^T = V_1 / V_7 = 9 / 0,98 = 9,2$

Теоретическая степень сжатия, создаваемая прессом $\varepsilon_{пр}^T = 10,2 * \varepsilon_{шв}^T / \delta^{0,85}$

где $\varepsilon_{шв}^T$ - степень сжатия, создаваемая шнековым валом, = 9,2; δ - ширина выходной щели пресса, при которой пресс работает, = 9 мм; тогда

$$\varepsilon_{пр}^T = 10,2 * 9,2 / 9^{0,85} = 14,6$$

Пример 11. При проектировании шнекового вала пресса принято, что свободный объем первого витка равен 8 л, а теоретическая степень сжатия, создаваемая шнековым валом $\varepsilon_{шв}^T = 13$. Определить, сколько витков должно быть на валу и какова производительность пресса, если он будет работать на подсолнечной мезге при ширине выходной щели $\delta = 8$ мм и $n = 18$ об/мин.

Так как степенью сжатия называется отношение свободного объема первого витка к свободному объему последнего витка то можно записать:

$13 = 8 / V_n$. Отсюда $V_n = 8 / 13 = 0,615$ л, т. е. свободный объем последнего витка должен равняться 0,615 л. Из уравнения изменения свободного объема следует, что

$$V_n = 8 / n^{1,145} = 0,615.$$

Логарифмируя получим: $\lg 0,615 = \lg 8 - 1,145 \lg n$, откуда

$$\lg n = (\lg 8 - \lg 0,615) / 1,145 = (0,903 + 0,211) / 1,145 = 0,98,$$

или $n = 9,55 \approx 10$ витков.

Производительность пресса определится уравнением (101), в котором произведение величины $0,785 D_s^2 L (1-\psi)$ представляет свободный объем первого витка, который для нашего случая равен 8 л, или $0,008$ м³, поэтому производительность пресса будет

$$Q = 47,1 * 0,008 * 18 * 0,45 * (1 - 0,63) = 1,13 \text{ т/час мезги.}$$

Удельная работа сжатия мезги (в Дж/кг)

$$R_{сж} = (0,388 b 10^6 / \rho_n e^{0,022w})(\varepsilon_2 - 1)^{6,5}, \quad (110)$$

Мощность (в кВт), расходуемая на сжатие мезги,

$$N_1 = 0,0141 (b Q n / \rho_n e^{0,022w}) (\epsilon_{пр}^{пр} - 1)^{6,5}, \quad (111)$$

где Q - количество мезги, приходящееся на 1 оборот шнекового вала, кг.

Мощность (в кВт), расходуемая на преодоление сил трения между сжимаемой мезгой и вращающимся шнековым валом получают суммированием по всем виткам

$$N_2 = \Sigma M_{кр} n / 9750, \quad (112)$$

где $M_{кр} = S r_{cp}$ - крутящий момент на каждом витке, Нм;

$r_{cp} = (D + d)/4$ - расстояние от оси шнекового вала (D и d - наружные диаметры нитки и тела витка, в м), на котором приложена сила S, м;

$S = F r_t$ - сила, давящая на нитку витка, Н;

$p_t = p \cos \beta \sin \alpha + T = p (\cos \beta \sin \alpha + f \cos \beta)$ - суммарное удельное давление в окружном направлении (здесь складываются окружная составляющая давления на витке $p_3 = p \cos \beta \sin \alpha$ и силы трения $T = fN = f \cos \beta$, при этом f - коэффициент трения мезги о поверхность рабочих органов пресса, α - угол наклона нитки витка и β - угол наклона передней грани нитки).

Мощность, расходуемая на преодоление сил трения между мезгой и зером получают суммированием по всем виткам

$$N_3 = \Sigma T V_M * 10^{-3}, \quad (113)$$

где: T = f A - возникающая сила трения о поверхность зера на длине одного витка, кг;

$A = p_p F_3 10^6$ - сила, действующая на внутреннюю поверхность зера ($F_3 = \pi D_3 L$) в результате развивающегося радиального давления ($p_p = p(0,428 \cos \beta \cos \alpha + \sin \beta)$) на длине витка, Н;

$V_M = ns/60$ - скорость перемещения мезги вдоль шнекового вала (s - шаг витка, м; n - частота вращения шнекового вала), м/сек.

Мощность (в кВт), необходимая на преодоление сил трения в подшипниках

$$N = 0,262 * 10^{-4} Q_n f_y d_{ш} n, \quad (114)$$

где Q_n - нагрузка на подшипник, Н; f_y - условный коэффициент трения (при значительных нагрузках $f_y = 0,0015...0,0020$, при малых нагрузках $f_y = 0,0020...0,0030$); $d_{ш}$ - диаметр окружности, по которой расположены шарики в подшипнике, м.

Мощность, потребляемая шнековым валом

$$N_b = (N_1 + N_2 + N_3) k_n, \quad (115)$$

Величина коэффициента перемешивания в прессе типа ФП определяется эмпирическим уравнением

$$k_n = 1,416 - 0,04 * \delta, \quad (116)$$

где δ - ширина выходной щели пресса, мм.

Мощность на выходном валу редуктора

$$N_p = N_b + N_4. \quad (117)$$

Ориентировочно мощность электродвигателя для привода шнекового пресса (в кВт)

$$N = (10...15) p n d^3, \quad (118)$$

где p - давление на последнем витке шнека, p = 1,2...2 МПа (иногда до 5 МПа); n - частота вращения шнекового вала, мин⁻¹; d - наружный диаметр шнека, м.

ЗАДАЧИ:

Задача 26. Определить производительность шнекового пресса типа ФП. Исходные данные для расчета взять из таблицы (10 вариантов).

Показатели	Ед. изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота вращ. шнекового вала	об / мин	15	25	20	20	15	25	25	20	15	10
Ширина выходной щели	мм	10	9	8	9	8	10	8	10	9	11

Задача 27. Определить требуемую мощность для работы шнекового пресса ФП. Исходные данные для расчета взять из таблицы в задаче 26 (10 вариантов).

Задача 28. В корзину пресса периодического действия загружается 400 кг винограда. За 7,5 ч рабочего времени прессовщик успевает получить 3200 кг сока при продолжительности одного цикла прессования 45 мин. Определите процент выхода сока из винограда.

Задача 29. Рассчитайте сменную производительность гидравлического пресса периодического действия, в пакеты которого загружается 800 кг яблочной мякоти. Выход сока на заводе составляет 60%. Продолжительность одного цикла прессования 12 мин. Продолжительность работы оборудования в течение смены 7,5 ч.

Задача 30. Найдите часовую производительность винтового пресса непрерывного действия, у которого наружный диаметр винта равен 0,15 м, внутренний диаметр и шаг винта 0,1 м, частота вращения винта 300 мин^{-1} , коэффициент заполнения камеры прессования продуктом 0,5, а прессуемый продукт - дробленые томаты.

Задача 31. Определите, при какой частоте вращения винта пресса непрерывного действия производительность пресса составит 80 л томатного сока в минуту при выходе 72% массы загружаемого сырья. Диаметр винта 0,2 м, диаметр вала 0,12 м, шаг винта 0,16 м. Коэффициент заполнения камеры прессования 0,4. Содержание сухих в соке 5%.

Задача 32. Рассчитайте мощность электродвигателя для привода экстрактора производительностью 90 л томатного сока в минуту. Выход сока в экстракторе 70%. КПД привода экстрактора 0,91.

Задача 33. Определите величину активной мощности электродвигателя и подберите электродвигатель для привода винтового пресса, используемого для отжима виноградного сока. При этом давление в конце камеры прессования 0,19 МПа.

Задача 34. Найдите размеры и частоту вращения винтов пресса непрерывного действия с последовательным расположением транспортирующего и прессующего винтов, определите расчетную мощность привода и подберите электродвигатель. Производительность пресса по яблочной мякоти составляет 10 т/ч.

Расчеты оборудования для подготовки сырья, полуфабрикатов и технологического оборудования к основным технологическим операциям

Машины для мойки сырья

Производительность барабанной моечной машины (в кг/с)

$$Q=(0,5...1)D^{0,5}\rho\text{ftg}\beta, \quad (1)$$

где D - диаметр барабана, м; ρ - насыпная плотность сырья, кг/м^3 ; φ - коэффициент заполнения барабана, равный 0,02...0,12; β - угол наклона барабана ($\beta = 2...3^\circ$).

Мощность электродвигателя для привода барабанной моечной машины (в кВт)

$$N \geq 0,5Ql \quad (2)$$

где l - длина барабана, м.

Производительность вентиляторной моечной машины (в кг/с)

$$Q=bhvr\varphi, \quad (3)$$

где b - ширина конвейера, м; h - высота слоя сырья, м; v - скорость движения конвейера, м/с; ρ - насыпная плотность сырья, кг/м^3 ; φ - коэффициент заполнения ленты сырьем ($\varphi = 0.4...0.7$).

Мощность электродвигателя для привода конвейера вентиляторной моечной машины (в кВт)

$$P=Q(H+6L)/102\eta, \quad (4)$$

где H - высота подъема сырья, м; L - длина конвейера, м; η - КПД привода.

Мощность электродвигателя для привода воздуходувки вентиляторной моечной машины (в кВт)

$$N=V\rho_B/1000\eta, \quad (5)$$

где ρ_B - давление воздуха, Па; η - КПД привода; V - расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$V = 0,025A, \quad (6)$$

здесь A - площадь зеркала воды в ванне, равная произведению ширины ванны на длину зеркала воды в ванне, м^2 .

Производительность лопастной моечной машины (в кг/с)

$$Q=V_{\text{пол}}\rho_{\text{см}}/\tau, \quad (7)$$

где $V_{\text{пол}}$ - полезная вместимость моющей части машины, м^3 ; $\rho_{\text{см}}$ - концентрация сырья в водно-сырьевой смеси ($\rho_{\text{см}} = 420...500 \text{ кг/м}^3$); τ - продолжительность мойки сырья, с.

Мощность привода лопастной моечной машины (в кВт)

$$N \geq 0,4b^2l, \quad (8)$$

где b - ширина ванны, м; l - длина ванны, м.

Пример 1. Требуется рассчитать барабанную моечную машину для мойки 1,667 кг яблок/с.

Предварительно принимаем исходные данные: диаметр барабана 1 м, его длина 2 м, насыпная плотность яблок 595 кг/м^3 , угол наклона барабана 3° .

Из формулы (1) находим коэффициент заполнения барабана сырьем $\varphi=Q/[(0.5...1)D^2(D^{0.5})\text{tg}\beta]=1,667/[(0.5...1)1^2(1^{0.5})595-6,0524]=0,053...0,106$, что хорошо согласуется с приведенными выше рекомендациями.

Мощность привода барабана

$$N \geq 0,5Ql \geq 0,5*1,667*2 = 1,667 \text{ кВт}.$$

Выбираем мотор-редуктор МПз2-63 с электродвигателем мощностью 2,2 кВт и частотой вращения выходного вала $22,4 \text{ мин}^{-1}$.

Пример 2. Необходимо найти суммарную мощность электродвигателей, установленных на вентиляторной моечной машине производительностью 14 т томатов в час. Длина конвейера машины 5 м, ширина ванны 1,2 м, высота подъема сырья 0,7 м, длина зеркала воды на моечном участке ванны 1,6 м. КПД привода 0,64.

Мощность электродвигателя для привода конвейера определяем по формуле (4):

$$N = Q(H + 6L)/102\eta = (14000/3600)(0,7 + 6*5)/(102*0,64) = 1,83 \text{ кВт}.$$

Выбираем электродвигатель мощностью 2,2 кВт.

По формуле (6) находим расход воздуха

$$V = 0,025A = 0,025 \cdot 1,2 \cdot 1,6 = 0,048 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимаем давление воздуха 80 кПа. При КПД привода воздухоудвки 0,86 мощность электродвигателя для привода воздухоудвки по формуле (5)

$$N = 0,048 \cdot 80000 / 1000 \cdot 0,86 = 4,465 \text{ кВт}.$$

Выбираем электродвигатель мощностью 5,5 кВт. Суммарная мощность электродвигателей

$$N_{\text{сум}} = 2,2 + 5,5 = 7,7 \text{ кВт}.$$

ЗАДАЧИ:

Задача 1. Определите производительность барабанной моечной машины с барабаном диаметром 0,6 м. Коэффициент заполнения барабана продуктом 0,06, насыпная плотность груза 580 кг/м³.

Задача 2. Проектная производительность линии на участке мойки моркови 1,78 кг/с. Обеспечит ли требуемую производительность барабанная моечная машина при диаметре барабана 0,6 м, коэффициенте заполнения 0,12 и угле наклона барабана 3 град?

Задача 3. Определите производительность вентиляторной моечной машины, конвейер которой движется со скоростью 0,126 м/с. Ширина конвейера 0,7 м, коэффициент заполнения его 0,5. Средний размер плодов 0,03 м, их насыпная плотность 625 кг/м³.

Задача 4. Чему равен коэффициент заполнения роликового полотна конвейера унифицированной вентиляторной моечной машины производительностью 2,2 кг томатов в секунду при ширине конвейера 0,9 м, скорости движения 0,18 м/с и среднем размере томатов 0,048 м?

Задача 5. При какой скорости движения конвейера вентиляторной моечной машины ее производительность составит 0,783 кг томатов в секунду, если средний размер томатов 0,05 м, ширина ленты конвейера 0,5 м, коэффициент заполнения ее сырьем 0,4, а насыпная плотность сырья 600 кг/м³?

Задача 6. Компрессор подает в барботеры моечной машины 0,03 м³ воздуха в секунду под давлением 105000 Па. КПД привода компрессора 0,67. Чему равна необходимая мощность привода компрессора?

Задача 7. Определите, достаточна ли мощность электродвигателя 1,5 кВт для привода вентилятора моечной машины, если расход воздуха составляет 0,02 м³/с, его давление 103000 Па, а КПД привода 0,82.

Задача 8. Рассчитайте мощность и подберите мотор-редуктор для привода барабанной моечной машины производительностью 0,05 кг корнеплодов в секунду. Длина барабана 1,9 м.

Задача 9. Установите, сможет ли электродвигатель мощностью 1,1 кВт привести в движение барабан моечной машины производительностью 0,45 кг/с при длине барабана 2 м.

Задача 10. В механических мастерских консервного завода изготовлена машина барабанного типа для мойки моркови производительностью 0,7 кг/с. Длина барабана 1,6 м. Какой мощности электродвигатель следует установить на машине?

Задача 11. Конвейер вентиляторной моечной машины производительностью 0,83 кг/с приводится в движение от электродвигателя через передачу с КПД 0,75. Длина конвейера 3,8 м, высота подъема груза 0,8 м. Какова необходимая мощность привода?

Задача 12. Какой запас мощности имеет электродвигатель привода конвейера вентиляторной моечной машины производительностью 2,5 кг томатов в секунду, если КПД привода 0,69, длина конвейера 3 м, высота подъема груза 0,75 м, а мощность установленного на машине электродвигателя 2,2 кВт?

Машины для мойки тары

Производительность линейных (отмочно-шприцевальных) машин для мойки банок и бутылок (шт/с)

$$Q = z_k / \tau, \quad (9)$$

где z_k - число кассет с банками или бутылками в ряду; τ - продолжительность кинематического цикла, с.

$$\tau = \tau_1 + \tau_2, \quad (10)$$

здесь τ_1 - продолжительность движения конвейера, с; τ_2 - продолжительность выстоя конвейера, с.

Мощность привода конвейера банкомоечной машины (в кВт) определяется по методу обхода контура конвейера по точкам (например, рис. 1). Усилие натяжения цепи в исходной точке 1 $S_1 = 2000 \dots 3000$ Н. Усилие натяжения цепи в точке 2 (в Н)

$$S_2 = S_1 + W_{1-2} \quad (11)$$

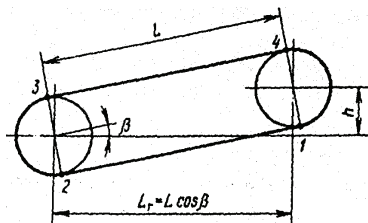


Рис. 1. Схема к расчету конвейера

где W_{1-2} - сила сопротивления на участке 1-2, Н.

$$W_{1-2} = 10 q_0 L_r \omega, \quad (12)$$

здесь q_0 - масса 1 м длины конвейера, кг,

L_r - длина горизонтальной проекции конвейера, м;

ω - коэффициент сопротивления движению,

равный 0,1...0,12 для катковых и 0,3...0,35 для скользящих цепей.

$$q_0 = 60B + K_n, \quad (13)$$

K_n - коэффициент, зависящий от ширины конвейера:

B	0,4...0,5	0,65...0,8	0,8
K_n	40...80	50...110	70...150

Усилие натяжения в точке 3 (в Н)

$$S_3 = S_2 + W_{2-3}, \quad (14)$$

Причем

$$W_{2-3} = 0,1 S_2. \quad (15)$$

Таким образом, $S_3 = 1,1 S_2$.

Усилие в точке 4 (в Н)

$$S_4 = S_3 + W_{3-4}, \quad (16)$$

В свою очередь,

$$W_{3-4} = 10 [(q + q_0) L_r \omega + q h] \quad (17)$$

где q масса груза на 1 м длины конвейера, кг.

Тяговое усилие на приводных звездочках (в Н)

$$P_T = S_4 - S_1 + 0,05 (S_4 + S_1). \quad (18)$$

При известном значении P , мощность электродвигателя для привода конвейера (в кВт)

$$N = P_T v K / (1000 \eta), \quad (19)$$

где v - скорость движения конвейера, м/с; K - коэффициент запаса мощности привода ($K = 1,3 \dots 1,5$); η - КПД привода ($\eta = 0,6 \dots 0,75$).

Расход пара в банкомоечных машинах (в кг/с)

$$D = (QqC_1 \Delta t_1 + W C_2 \Delta t_2 + F \alpha_0 \Delta t_3) / r, \quad (20)$$

где Q - производительность машины, шт/с; q - масса одной банки, бутылки, кг; C_1 - удельная теплоемкость материала тары, кДж/(кг К); Δt_1 - разность температуры тары на

входе и выходе из машины, °C; W - количество свежей воды, поступающей в машину, кг/с; C₂ - удельная теплоемкость воды, кДж/(кг K); Δt₂ - разность температуры воды, сбрасываемой из машины в дренаж, и свежей воды, °C; F - площадь наружной поверхности машины, м²; α₀ - суммарный коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности машины в воздух, кВт/(м² K); Δt₃ - разность температур поверхности машины и воздуха, °C; γ - удельная теплота конденсации греющего пара, кДж/кг.

Задача 13. Определить производительность бутылкомоечной машины. Данные для расчета: число кассет в ряду 12; рабочий цикл машины 14,4 с (время движения 4,8 с, выстой 9,6 с).

Задача 14. Рассчитать расход пара для бутылкомоечной машины АММ-6 производительностью 7500 бут/ч. Данные для расчета: температура поступающих бутылок 15°C, а выходящих - 20°C; расход воды - 2 м³/ч; температура поступающей воды 10°C, а выходящей - 40°C; температура в цехе 20°C.

Дополнительные справочные данные: масса одной бутылки 0,485 кг; удельная теплоемкость стекла 670 Дж/(кг K); удельная теплоемкость воды 4187 Дж/(кг K); теплосодержание пара 2724 кДж/кг.

Просеивающие машины для очистки сыпучих материалов

Очистка сыпучего сырья от примесей осуществляется на просеивающих машинах с плоскими или барабанными ситами и в комбинации с воздушной сепарацией. Машины с плоскими ситами имеют возвратно-поступательное или круговое поступательное движение, машины с барабанными ситами бывают с вращающимися и неподвижными ситами.

Просеивающие машины с плоскими ситами.

Производительность Q (в кг/с) просеивающих машин с ситами прямоугольной формы

$$Q = B h_m V_{cp} \rho k, \quad (21)$$

где B - ширина сита, м; h_m - толщина слоя материала в начале сита, м; V_{cp} - средняя скорость перемещения материала по поверхности сита, м/с; ρ - объемная масса материала, кг/м³; k - коэффициент заполнения поперечного сечения сита в месте подачи материала (k ≤ 1).

Размеры сита (ширину B, в м) при известной производительности сита определяют по формуле

$$B = F_m / h_m, \quad (22)$$

где F_m - площадь сечения слоя материала на сите, м²; h_m - толщина слоя материала на сите, м (h_m ≤ 50 мм).

$$F_m = \pi V_{cp} \rho \mu, \quad (23)$$

где μ - коэффициент разрыхления материала (μ = 0,35...0,8).

Средняя скорость перемещения материала по поверхности сита (в м/с) может быть определена по формуле

$$V_{cp} = 0,23 n r f \operatorname{tg} \beta, \quad (24)$$

где n - частота вращения вала кривошипа, об/мин; r - радиус кривошипа, м; f - коэффициент трения материала о поверхность сита (f = 0,35...0,7); β - угол наклона опорных пластин к вертикали, град (β = 15...20°). Отметим, опорные пластины обычно закрепляются перпендикулярно к поверхности сита и в этом случае угол наклона опорных пластин к вертикали β равен углу наклона сита к горизонтали α.

Средняя скорость перемещения легкоподвижных материалов по поверхности сита должна находиться в пределах 0,1...0,3 м/с, но иногда может достигать 0,5 м/с.

Основное влияние на скорость перемещения материалов по поверхности сита оказывает число оборотов вала кривошипа.

Минимальное число оборотов вала кривошипа, при котором частица начинает двигаться вниз,

$$n'_{\min} = 29,9\sqrt{\operatorname{tg}(\varphi - \alpha)/R}, \quad (\text{об/мин.}), \quad (25)$$

где: φ - угол трения семян о поверхность сита; α - угол наклона сита; R - радиус кривошипа, м.

Минимальное число оборотов вала кривошипа, при котором частица начинает двигаться вверх,

$$n''_{\min} = 29,9\sqrt{\operatorname{tg}(\varphi + \alpha)/R}, \quad (\text{об/мин.}). \quad (26)$$

Число оборотов, при котором происходит подбрасывание частиц на сите (максимальное число оборотов сита),

$$n_{\max} = 29,9/\sqrt{R\operatorname{tg}\alpha}, \quad (\text{об/мин.}). \quad (27)$$

Рабочее число оборотов вала кривошипа обычно принимают

$$n = (1,5-2,0)n''_{\min}. \quad (28)$$

При сепарирований семян подсолнечника рекомендуется принимать

$$n = 33,675/\sqrt{e}, \quad (29)$$

где $e = 2R$ - амплитуда колебаний кузова, м.

Наибольшая скорость сита связана с числом оборотов вала кривошипа

$$V_0 = \pi R n / 30, \quad (\text{м/сек}) \quad (30)$$

где: R - радиус кривошипа, м, n - число оборотов вала кривошипа, об/мин.

Ограничение на наибольшую скорость сита из условия обеспечения прохода семени в отверстие определяется следующим соотношением

$$V_0 \leq (D_{\text{отв}} - d_n)(g/d_n)^{0,5}. \quad (31)$$

Угол поворота вала кривошипа, при котором начинается перемещение семян вниз по ситу,

$$\psi_0 = -\arccos[(895/Rn^2)\operatorname{tg}(\varphi - \alpha)] \pm 360k, \quad (32)$$

где: R - радиус кривошипа, м ; n - число оборотов вала кривошипа, об/мин; (φ - угол трения семян о поверхность сита; α - угол наклона сита; k - любое целое число.

Перемещение семени вниз за один оборот вала

$$S_1 = R [\cos(\varphi - \alpha)(\cos\psi - \cos\psi_0)/\cos\varphi + (g/2)[\sin(\varphi - \alpha)/\cos\varphi][(\psi - \psi_0)^2/36n^2] + V_0 [\cos(\varphi - \alpha)/\cos\varphi][\sin\psi_0][(\psi - \psi_0)/6n], \quad (33)$$

где: V_0 - наибольшая скорость сита, м/сек; ψ_0 - угол поворота вала кривошипа, при котором начинается перемещение семени вниз; ψ - угол, при котором заканчивается перемещение семени вниз; g - ускорение силы тяжести.

Остальные обозначения смотри выше.

Угол поворота вала кривошипа, при котором начинается перемещение семени вверх,

$$\psi_0 = \arccos[-(895/Rn^2)\operatorname{tg}(\varphi + \alpha)] \pm 180(1 + 2k), \quad (34)$$

Перемещение семени вверх по ситу за один оборот вала

$$S_2 = R [\cos(\varphi + \alpha)(\cos\psi - \cos\psi_0)/\cos\varphi + (g/2)[\sin(\varphi + \alpha)/\cos\varphi][(\psi - \psi_0)^2/36n^2] + V_0 [\cos(\varphi + \alpha)/\cos\varphi][\sin\psi_0](\psi - \psi_0)/6n, \quad (35)$$

где: R , n , φ , α , V_0 - те же; ψ_0 угол поворота вала кривошипа, при котором начинается перемещение семени вверх; ψ - угол поворота вала кривошипа, при котором заканчивается перемещение семени вверх.

Полное перемещение семени по ситу за один оборот вала

$$S_0 = S_1 + S_2, \quad (\text{м}). \quad (36)$$

Скорость перемещения семени по ситу в обе стороны с мгновенными остановками

$$v_{\text{сем}} = S_0 n = R \omega \cos\beta \cos\varepsilon \sqrt{[1 - (\varepsilon z + \sin\varepsilon)^2]} [(2/\pi) f \operatorname{tg}\beta (\operatorname{tg}\varepsilon - \varepsilon + (\pi/2) - 1)], \quad (37)$$

где $\varepsilon = \pi K/(K-1)$

$$K = [\sin(\alpha - \rho) \cos(\beta - \rho)] / [\cos(\beta + \rho) \sin(\alpha + \rho)]$$

$$z = (g/R\omega^2) [\sin(\alpha + \rho) / \cos(\beta - \rho)]$$

Соответственно производительность сита сходом при возвратно-поступательном движении определяется по формуле

$$Q = 60 V h S_0 n \gamma \mu, \quad (\text{т/час или кг/час}), \quad (38)$$

где: В - ширина сита, м; h - толщина слоя семени на сите, м; S₀ - полное перемещение семени по сити за один оборот вала, м; n - число оборотов вала кривошипа, об/мин.; γ - насыпной вес семян; (т/м³ или кг/м³); μ - коэффициент разрыхления.

Средняя скорость перемещения семени по сити с круговым поступательным движением

$$V_{cx} = 147 \sin \alpha / n, \text{ (м/сек).} \quad (39)$$

Приблизительно перемещение семени при круговом поступательном движении сита

$$S_0 = g(30/n)^2 \sin \alpha, \text{ (м),} \quad (40)$$

Соответственно производительность сита с круговым поступательным движением по сходу

$$Q_{cx} = 3600 B h V_c \gamma \mu, \text{ (т/час или кг/час),} \quad (41)$$

где: В—ширина сита, м; h—толщина слоя семени на сите, м. V_{cx} - средняя скорость перемещения семени по сити, м/сек, γ - насыпной вес семян, (т/м³ или кг/м³); μ - коэффициент разрыхления.

Эффективность работы сита зависит от правильного подбора отверстий сита.

Вероятность прохождения семян сквозь сито

$$\text{при } l/D < 1 \quad P = 0,667 - 0,424 l/D, \quad (42)$$

$$\text{при } l/D > 1 \quad P = 0,424 [\text{arc sin } D/l + \sqrt{(l/D)^2 - 1} - l/D], \quad (43)$$

где: l - длина семени, мм; D - диаметр отверстий сита, мм.

Окончательная засоренность семян, сходящих с сита,

$$\lg y_2 = \lg y_1 + L/S_0 \lg [l - (P \delta / 100h)a], \quad (44)$$

где: y₁ и y₂ - соответственно начальная и конечная засоренность семян, %; L - длина сита, м; S₀ - полное перемещение семени по сити за один оборот вала, м; P - вероятность прохождения примеси сквозь отверстия сита, %; δ - размер примеси, мм; h - толщина слоя семени на сите, мм, a - коэффициент перемешивания.

Или по другому безразмерная концентрация извлекаемой примеси по длине сита (или по времени пребывания на сите) распределяется следующим образом

$$E = y_2 / y_1 = 1 - 0,81 \exp(-0,619/H^2), \quad (45)$$

где H = h/√(2bt); h = Q/(Bρ_n v_{сем}); t = L/v_{сем}; b = 0,15 - 0,18 см²/с.

Мощность, потребная для преодоления сил инерции ситовой коробки,

$$N_n = 4,97 * 10^{-7} \Sigma G n^3 R^2, \text{ (л.с.),} \quad (46)$$

где: R - радиус кривошипа, м; n - число оборотов вала кривошипа, об/мин.; ΣG - вес ситового кузова со всеми его частями и семенами на нем, кг.

Мощность, потребная на преодоление сил трения семени о сито,

$$N_f = 3,71 * 10^{-3} f Q L \cos \alpha, \text{ (л.с.),} \quad (47)$$

где: f - коэффициент трения семени о сито; Q - производительность сита по сходу, (т/час); L - длина сита, м; α - угол наклона сита.

Или по другому мощность привода качающегося сита (в кВт)

$$N_n = (0,013 \dots 0,015) m a^2 / n, \quad (48)$$

где m - масса качающейся системы сепаратора, кг; α - оптимальное ускорение сит, при сепарировании семян подсолнечника α = 12,6 м/с².

Возможно оценить установленную мощность электродвигателя N_{эл} (в кВт), необходимую для привода во вращение вала кривошипа, по следующей формуле

$$N_{эл} = k_1 n^3 r^2 (G_c + G_a) / 250 \eta, \quad (49)$$

где k₁ - опытный коэффициент (k₁ = 2...2,5); G_c - относительный вес качающихся частей сита, H; G_a - вес материала на сите, H; η - КПД привода.

$$G_m = F h_m \rho g, \quad (50)$$

где F - площадь сита, м².

$$F = Q / \Pi_0, \quad (51)$$

где Q - производительность просеивателя, кг/с; Π₀ - удельная нагрузка на 1 м² сита, кг/(м² с); принимают Π₀ = 1,8...2 кг/(м² с).

$$\begin{aligned} & \text{Длина сита } L \text{ (в м)} \\ L &= F/B. \end{aligned} \quad (52)$$

Просеивающие машины с барабанными ситами

$$\begin{aligned} & \text{Производительность } Q \text{ (в кг/ч) просеивающих машин с вращающимися ситами} \\ Q &= 720\mu\rho n \operatorname{tg} 2\alpha (R^3 h_m^3)^{0,5}, \end{aligned} \quad (53)$$

где μ - коэффициент разрыхления материала ($\mu = 0,6 \dots 0,8$); ρ - плотность материала, кг/м^3 ; n - частота вращения вала барабана, об/мин ; α - угол наклона барабана к горизонту, град ($\alpha = 4 \dots 8^\circ$); R - радиус барабана, м ; h_m - высота слоя материала в барабане, м .

По заданной производительности Q приведенный радиус барабана R (в м) можно определять из выражения

$$R = (1/h_m)(Q/720 \mu\rho n \operatorname{tg} 2\alpha)^{2/3}. \quad (54)$$

Если известна производительность просеивающей машины, то, задавшись приведенным радиусом барабана, можно определить частоту вращения барабана $n = Q/(720\mu\rho n \operatorname{tg} 2\alpha (R^3 h_m^3)^{0,5})$.

$$\begin{aligned} & \text{Практически частота вращения барабана (в мин}^{-1}\text{)} \\ n &= 8/\sqrt{R} \dots 14/\sqrt{R}. \end{aligned} \quad (56)$$

Общая площадь ситовой поверхности барабана F (в м^2) определяется по формуле

$$F_c = Q/\Pi_o, \quad (57)$$

где Q - производительность просеивателя, кг/с ; Π_o - удельная нагрузка на 1 м^2 сита, $\text{кг/м}^2 \text{ с}$; принимают $\Pi_o = 0,33 \dots 0,56 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$.

Площадь ситовой поверхности одной рамки F_p (в м^2) можно определить, если задаться числом граней z ситового барабана:

$$F_p = F_c/z, \quad (58)$$

Считая, что приведенный радиус барабана является средней линией ситовой рамки барабана, определяем ее длину (в м):

$$L = F_p/R. \quad (59)$$

Ширина ситовой рамки (в м)

$$B = F_p/L. \quad (60)$$

Частоту вращения отводящего шнека (в об/с) определяем по формуле

$$n_{ш.} = 4Q/[\pi(D^2 - d^2) \psi s \rho], \quad (61)$$

где D - наружный диаметр шнека, м ; d - диаметр вала шнека, м [обычно принимают $d = (0,2 \dots 0,3)D$]; ψ - коэффициент заполнения корпуса шнека ($\psi = 0,5 \dots 0,6$); s - шаг винта шнека, м ; ρ - плотность продукта, кг/м^3 .

Установочную мощность электродвигателя (в кВт) для бурата ориентировочно можно определить по формуле

$$N_{зд} = (N_1 + N_2 + N_3)/\eta, \quad (62)$$

где N_1 - мощность, расходуемая на преодоление сил трения в подшипниках, кВт ; N_2 - мощность, расходуемая на подъем материала в барабане, кВт ; N_3 - мощность, необходимая для вращения распределительного шнека, кВт ; η - КПД привода.

$$N_1 = \pi d_1 n f (G_6 + G_m)/1000, \quad (63)$$

где d_1 - диаметр шейки вала, м ; n - частота вращения вала барабана, об/мин ; f - коэффициент трения скольжения в подшипниках ($f = 0,15 \dots 0,2$); G_6 - вес вращающихся частей барабана бурата, Н ; G_m - вес материала в барабане (Н), определяемый по формуле $G_m = F_p h \rho g$ (здесь h - толщина слоя материала в барабане, м);

$$N_2 = 0,0024 G_m R n, \quad (64)$$

$$N_3 = gQLw/1000, \quad (65)$$

где L - длина шнека, м ; w - коэффициент сопротивления движению материала по стенке корпуса ($w = 2 \dots 4$).

Мощность привода ситчатого барабана (в кВт) для масличных семян можно приближенно определить по формуле

$$N = (0,00005 \dots 0,00006) Rn (G + 13G_{пр}), \quad (66)$$

где G - масса барабана, кг; $G_{пр}$ - масса семян в барабане, кг.

Площадь в случае неподвижной ситовой поверхности F (в m^2) с внутренним шнеком рассчитывают по формуле (57) при $\Pi_0 = 2 \dots 2,8 \text{ кг}/(m^2 \cdot c)$.

Диаметр цилиндрического сита (в м)

$$D_c = D + 2\delta, \quad (67)$$

где D - диаметр шнека, м; δ - зазор между наружным диаметром шнека и стенкой корпуса, мм ($\delta = 2 \dots 3$ мм).

Диаметр шнека по заданной производительности можно определять по формуле

$$D = [Q_0,785\psi k' \rho k n]^{1/3}, \quad (68)$$

где ψ - коэффициент, учитывающий степень подачи материала в просеивающий барабан ($\psi = 0,2 \dots 0,3$); k' - коэффициент, учитывающий отношение шага шнека к его диаметру: $k' = s/D = 0,5 \dots 1$; ρ - плотность материала, $кг/m^3$; k - коэффициент, учитывающий полезную площадь шнека ($k = 0,6 \dots 0,75$); n - частота вращения шнека, об/мин.

Высота (длина) цилиндрического сита (в м)

$$H_c = F_c / (\pi D_c). \quad (69)$$

Высоту загрузочного отверстия в корпусе шнека принимают в пределах

$$h = (1 \dots 1,5)s.$$

Установочная мощность электродвигателя $N_{зд}$ (в кВт) определяется по формуле

$$N_{зд} = (N_1 + N_2) \eta \quad (70)$$

где N_1 - мощность, расходуемая на подъем материала, кВт; N_2 - мощность, необходимая на приведение во вращение питающих лопастей, кВт.

$$N_1 = gQH k_1 (w + 1) / 1000, \quad (71)$$

$$N_2 = z k_2 \omega^3 h (R^4 - r^4) / 408 \eta, \quad (72)$$

где H - высота подъема материала, м; k_1 - коэффициент, учитывающий потери на трение в подшипниках ($k_1 = 1,15 \dots 1,20$); w - коэффициент сопротивления движению материала о стенки корпуса ($w = 10$); z - количество лопастей; k_2 - коэффициент сопротивления (для муки $k_2 = 5000$); ω - угловая скорость лопастей, рад/с; h - высота лопасти, м ($h = 0,03$ м); R - наружный радиус лопасти, м ($R = 0,3$ м); r - радиус вала лопасти, м ($r = 0,03$ м).

Пример 3. Рассчитать просеиватель для муки производительностью $Q = 1500$ кг/ч с углом наклона граней барабана $\alpha = 4^\circ$ при коэффициенте разрыхления $\mu = 0,7$ и высоте слоя муки в барабане $h = 0,05$ м. Приведенный радиус барабана $R = 0,2$ м. Число граней барабана $z = 5$. Удельная нагрузка на 1 м^2 сита $\Pi_0 = 0,4 \text{ кг}/(m^2 \cdot c)$. Вес вращающихся частей ситового барабана $G_6 = 450$ Н. Объемная плотность муки $\rho = 500 \text{ кг}/m^3$. Наружный диаметр отводящего шнека $D = 200$ мм. Недостающие исходные данные можно принимать по литературным источникам.

Расчет ведется в следующем порядке.

1. По формуле (55) определяем частоту вращения вала ситового барабана (в об/мин):

$$n = 1500 / (720 * 0,7 * 500 * 0,1405 * (0,2 * 0,05)^{3/2}) = 42,4, \text{ или } \omega = 4,44 \text{ рад/с}.$$

2. По формуле (57) вычисляем общую площадь ситовой поверхности барабана (в m^2):

$$F_c = 1500 / (3600 * 0,4) = 1,05.$$

3. По формуле (58) находим площадь поверхности одной ситовой рамки (в m^2)

$$F_p = 1,05 / 5 = 0,21.$$

4. По формуле (59) определяем длину ситовой рамки (в м) $L = 0,21 / 0,2 = 1,05$.

5. По формуле (60) находим ширину ситовой рамки (в м) $B = 0,21 / 1,05 = 0,2$.

6. По формуле (61) определяем частоту вращения вала отводящего шнека $n_{ш}$, (в об/с) при диаметре вала $d = 0,3D = 0,3 * 200 = 60$ мм, шаге шнека $s = 0,8D = 0,8 * 200 = 160$ мм и коэффициенте заполнения шнека $\psi = 0,5$

$$n_{ш} = 4 * 1500 / (3600 * 3,14 * (0,2^2 - 0,06^2) * 0,16 * 500 * 0,5) = 0,36 \text{ (или } n_{ш} = 22 \text{ об/мин)}.$$

7. Вес муки в барабане (в Н) находим по формуле (50):

$$G_m = 0,21 * 0,05 * 500 * 9,81 = 51,5.$$

8. Мощность (в кВт), расходуемую на преодоление сил трения в подшипниковых опорах ситового барабана (коэффициент трения скольжения в подшипниках принимаем равным 0,2), определяем по формуле (63) при диаметре шейки вала $d_1 = 0,045$ м:

$$N_1 = 3,14 * 0,045^2 * 4,44 * 0,2 * (450 + 51,5) / 1000 = 0,062.$$

Мощность (в кВт), расходуемую на подъем муки, находим по формуле (64):

$$N_2 = 0,0024 * 5,15 * 0,2 * 4,44 = 0,11.$$

По формуле (65) вычисляем мощность (в кВт), необходимую для вращения шнека, при его длине $L = 1,3$ м и коэффициенте сопротивления движению муки по стенке корпуса $w = 5$:

$$N_3 = 9,81 * 1500 * 1,3 * 5 / (3600 * 10^{-3}) = 0,027$$

Установочную мощность электродвигателя (в кВт) для просеивающей машины с барабанным ситом определяем по формуле (62), принимая КПД привода равным 0,67:

$$N_{эл} = (0,062 + 0,11 + 0,027) / 0,67 = 0,21.$$

Пример 4. Для выделения крупных сорных примесей из семян подсолнечника предложено применить бурат. Какими должны быть его размеры, частота вращения и мощность привода при производительности 480 т/сут?

Принимаем следующие исходные данные: диаметр барабана 1 м, средняя высота слоя материала в барабане 0,12 м, коэффициент разрыхления материала 0,8, насыпная плотность семян подсолнечника 440 кг/м³.

Определяем частоту вращения барабана

$$n = 8 / \sqrt{R} \dots 14 / \sqrt{R} = 11,31 \dots 19,8 \text{ мин}^{-1}.$$

$$\text{Принимаем } n = 18 \text{ мин}^{-1}$$

Производительность бурата

$$Q = 480000 / 24 = 20000 \text{ кг/ч.}$$

Находим требуемый угол наклона бурата:

$$\text{tg}(2\alpha) = Q / (720 \varphi \rho n \sqrt{R^3 h^3}) = 20000 / (720 * 0,8 * 440 * 18 * \sqrt{0,5^3 * 0,12^3}) = 0,2983.$$

Принимаем $\alpha = 8^\circ 30'$.

Мощность привода барабана (в кВт) $N = (0,00005 \dots 0,00006) R n (G + 13G_{пр})$.

При собственной массе барабана 700 кг и массе продукта в нем 1,60 кг

$$N = (0,00005 \dots 0,00006) * 0,5 * 18 * (700 + 13 * 160) = 1,25 \dots 1,5 \text{ кВт.}$$

Принимаем к установке мотор-редуктор с электродвигателем мощностью 2,2 кВт.

Задача 15. Определите необходимые размеры наклонного вибрационного сита, предназначенного для предварительной очистки 18 т/ч маслосемян при содержании прохода в исходном материале 99,3%, наличии в проходе 100% зерен, размер которых меньше половины отверстия в сите (диаметр отверстия 10 мм).

Задача 16. Рассчитать площадь ситовой поверхности просеивателя «Пионер», если его производительность 1,25 т/ч, удельная нагрузка на 1 м² сита 2,9 кг/(м²с).

Задача 17. Для просеивания сахара-песка применяют качающееся плоское сито с углом наклона опорных пластин к вертикали 14 град. Толщина слоя сахара-песка на поверхности сита 40 мм. Радиус кривошипа приводного вала 11 мм, коэффициент трения материала о поверхность сита 0,65. Вычислите установочную мощность электродвигателя и частоту вращения приводного вала просеивателя, если производительность его 4,5 кг/с, удельная нагрузка на 1 м² сита 1,9 кг/(м²с). Относительный вес ходовых частей сита 250 Н, опытный коэффициент 2, общий КПД привода 0,85.

Задача 18. Определите теоретическую производительность качающегося плоского сита шириной 0,6 м, у которого радиус кривошипа на приводном валу 15 мм, высота слоя материала на поверхности, сита 45 мм, плотность продукта 880 кг/м³, угол наклона опорных пластин к вертикали 20 град. Угловая скорость вращения вала кривошипа 47,1 рад/с. Коэффициент трения материала о поверхность сита 0,35. Коэффициент разрыхления материала 0,45.

Задача 19. Произвести энергетический расчет ситовой части сепаратора типа ЗСМ. Исходные данные для расчета взять по таблице (10 вариантов).

Таблица

Показатели	Ед. изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Производительность	т/ч	3	5	4	4	3	5	5	4	3	4
Амплитуда колебаний сита	мм	6	5	7	5	7	6	7	6	5	5
Длина сита	м	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,8	1,8
Ширина сита	м	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8
Угол наклона сита	град	12	10	11	11	12	10	10	11	12	10

Задача 20. Диаметр ситового барабана просеивателя 1000 мм, частота вращения 0,52 рад/с, угол наклона граней барабана 7 град. Определить, можно ли использовать его для просеивания муки в количестве 50 кг/мин, если высота слоя муки на поверхности сита 50 мм, а коэффициент разрыхления материала 0,8.

Задача 21. Просеиватель типа бурат применяется для просеивания муки в количестве 0,6 кг/с при частоте вращения барабана 0,628 рад/с. Рассчитайте конструктивные размеры ситового барабана, если высота слоя муки в барабане 0,045 м, удельная нагрузка на 1 м² сита 0,4 кг/(м²с), коэффициент разрыхления 0,7. Угол наклона граней барабана 8 град.

Машины для снятия оболочек с семян

Рассмотрим вопросы расчета оборудования для обрушивания масличных семян подсолнечника.

При обрушивании семян подсолнечника в бичевой семенорушке удельная работа разрушения семенной оболочки (в Дж/кг)

$$A_c = 185,4 + 20w^{0,705} \quad (73)$$

где w - влажность семян, % (формула (73) справедлива до влажности $w=14\%$).

Скорость (в м/с), с которой семена должны ударяться о неподвижную деку (или скорость, с которой бичи ударяют по семенам),

$$v = 1,41 \sqrt{A_c} \quad (74)$$

Необходимая частота вращения бичевого барабана семенорушки (в мин⁻¹)

$$n = (27/D) \sqrt{A_c} = 19,1v/D, \quad (75)$$

где D - диаметр бичевого барабана, м.

Зависимость между конструктивными размерами бичевой семенорушки (ограничение, которое надо учитывать)

$$z \geq (2,22 D/b \cos \alpha) \sqrt{(2gH/A_c)}, \quad (76)$$

где z - число бичей на бичевом барабане; b - ширина бича, м; α - угол наклона бича к радиусу; H - высота, с которой семена падают на бич, м; g - ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Производительность бичевой семенорушки (в кг/с)

$$Q = lq, \quad (77)$$

где z - число бичей; l - длина бича, м; q - удельная нагрузка на 1 м длины бича, для семенорушки МРН $q = 0,6 \dots 0,7 \text{ кг/(м с)}$.

Затрачиваемая энергия на работу бичевой семенорушки определяется требуемой мощностью (в кВт), составляющие которой:

$$N_1 = \Pi A_c / 1000, \quad (78)$$

$$N_2 = VH / 1000 \eta_r, \quad (79)$$

которая с учетом следующих соотношений

$$V = (\varphi \pi / 60) D 1 a n = 0,021 D 1 a n, \text{ т.к. коэффициент неупорядоченности } \varphi = 0,4, \\ N = (\pi^2 \psi / 3600) \rho D^2 n^2 = 1,78 * 10^{-3} D^2 n^2, \text{ т.к. коэффициент напора } \psi = 0,5, \text{ а также } n = \\ (27/D) \sqrt{A_c} \text{ и гидравлический к.п.д. вентилятора } \eta = 0,4 \\ N_2 = 3,07 * 10^{-3} Q_a A_c^{1,5}, \quad (80)$$

где a, z - соответственно, ширина выходной течки бичевой семенорушки, m (для рушки МРН $a = 0,08$ м) и число бичей (для рушки МРН $z = 16$);

мощность, необходимая для преодоления трения семян о деку

$$N_3 = 0,2 * 10^{-3} Q_a \beta f_0, \quad (81)$$

где β - угол охвата барабана декой, рад (для МРН $\beta = 1,9$ рад); f_0 - коэффициент внутреннего трения рушанки ($f_0 = 0,9$);

мощность, необходимая для придания скорости рушанки

$$N_4 = 0,187 * 10^{-2} Q_a c (1 + K_b), \quad (82)$$

где K_b - коэффициент восстановления удара (для семян подсолнечника $K_b = 0,39 - 0,43$).

Общая необходимая мощность для работы бичевой семенорушки $N = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) / \eta = (Q A_c / 1000 \eta) [1 + 3,07 a A_c^{0,5} + 0,2 \beta f_0 + 1,87 (1 + K_b)]$, (83) где η - КПД бичевой семенорушки, равный $0,35 \dots 0,4$.

Мощность привода бичевой семенорушки (в кВт) можно определить приближенно по формуле

$$N = [Q A_c + 0,01 D^2 n^2 (0,01 D n a + 0,257 Q)] / (1000 \eta), \quad (84)$$

где a - расстояние между декой и окружностью, описываемой наружной кромкой бича (у семенорушки МРН $a = 0,08$ м); η - КПД бичерушки, равный $0,35 \dots 0,4$. Остальные обозначения см. под формулами (73) ... (77).

Расчетные формулы для центробежной рушки

Зависимости перемещения и скорости семян по ротору центробежной рушки

$$r = C_1 \exp k_1 \tau + C_2 \exp k_2 \tau \quad (85)$$

$$v = C_1 k_1 \exp k_1 \tau + C_2 k_2 \exp k_2 \tau, \quad (86)$$

где r - перемещение семени вдоль радиальной лопатки на роторе центробежной рушки, м;

v - скорость семени при движении вдоль радиальной лопатки на роторе центробежной рушки, м/с;

$$C_1 = (v_1 - r_1 k_2) / (k_1 - k_2), \quad (87)$$

$$C_2 = (r_1 k_1 - v_1) / (k_1 - k_2), \quad (88)$$

где C_1 и C_2 - постоянные интегрирования уравнения движения семени по ротору центробежной рушки;

r_1 и v_1 - соответственно начальный радиус лопатки и начальная скорость при входе на лопатку (на радиусе r_1).

$$k_1 = \omega [-f + \sqrt{(f^2 + 1)}], \quad (89)$$

$$k_2 = \omega [f + \sqrt{(f^2 + 1)}], \quad (90)$$

где k_1 и k_2 - корни характеристического уравнения движения семени по ротору центробежной рушки;

f - коэффициент трения семян по стали (можно принять $f = 0,31$).

Приближенные зависимости перемещения и скорости семени по ротору центробежной рушки получаются из полных уравнений в случае учета только первого слагаемого в правой части (это выполняется при условии $r > 3r_1$)

$$r = r_1 \exp 0,735 \omega \tau, \quad (91)$$

$$v = v_1 \exp 0,735 \omega \tau. \quad (92)$$

Из предыдущего следует

$$v = v_1 (r / r_1), \quad (93)$$

при этом

$$v_1 = 0,076 r_1 n. \quad (94)$$

Время, необходимое для перемещения семени вдоль лопатки на радиус r
 $\tau = \ln(r/r_1)/0,735\omega$. (95)

Расчет необходимого для обрушивания числа оборотов ротора центробежной рушки производится путем решения трансцендентного уравнения

$$\Phi(n) = 0, \quad (96)$$

где $\Phi(n) = \{ \sqrt{(2A_c)/[\cos \alpha \sqrt{(1 - (r_2^2/r_1^2) \cos \phi)}]} - \sqrt{(v_2^2 + U_2^2 + 2 V_2 U_2 \cos \phi)}$,

$\phi = \arctg(v_2/u_2)$,

$v_2 = v_1 (r_2/r_1)$,

$u_2 = \omega r_2 = \pi n r_2 / 30$,

r_1, r_2, r_3 - радиусы соответственно начала лопатки, конца лопатки, деки, м;

α - угол наклона деки.

Расчет производительности центробежной семенорушки (в т/сутки) возможно осуществить по формуле

$$Q = 6,65 n z (r_2 - r_1) m_c / [1c \ln(r_2/r_1)], \quad (97)$$

где n - число оборотов ротора, об/мин; r_2, r_1 - радиусы соответственно начала и конца лопатки, м; $m_c, 1c$ - соответственно масса и длина одного семени подсолнечника (можно принять $m_c = 0,00071$ кг и $1c = 0,011$ м); z - число лопаток на роторе центробежной рушки, которое ограничено соотношением

$$z \leq 2\pi r_1 / (kl_c + \delta), \quad (98)$$

где $k \approx 2$ - коэффициент запаса по стесненности прохода семени в канал;

δ - толщина лопатки, м ($\delta \sim 0,002 - 0,003$ м).

Расчет затрат мощности (в кВт) на работу центробежной рушки складывается из определения составляющих:

мощность, необходимая на сообщение семенам кинетической энергии

$$N_1 = QW/1000 = 0,0005 \Pi (c^2 - c_1^2), \quad (99)$$

где Q - производительность рушки, кг/с; W - кинетическая энергия, приобретенная 1 кг семян при прохождении по ротору; c и c_1 - абсолютная скорость семян соответственно на выходе и входе на роторе (определяются при соответствующих скоростях v и v_1 ; u и u_1)

$c = \sqrt{(v+u+2vu \cos \phi)}$,

$\phi = \arctg(v/u)$,

$v = v_1 (r/r_1)$,

$v_1 = 0,076 r_1 n$,

$u = \pi n r / 30$,

$u_1 = \pi n r_1 / 30$,

мощность, необходимая на преодоление трения семян о нижний диск ротора

$$N_2 = 0,304 * 10^{-2} Q (r_2 - r_1), \quad (100)$$

мощность, необходимая на преодоление трения семян о лопатки ротора

$$N_3 = 0,32 * 10^{-4} \Pi n (r_2^2 - r_1^2) / r_1, \quad (101)$$

мощность, необходимая на вентиляцию

$$N_4 = 0,12 * 10^{-4} (2\pi r_1 - z\delta) h v_1 r_2^2 n^2 / \dot{\eta}, \quad (102)$$

где $\dot{\eta} = 0,4$ - гидравлический к.п.д. вентилятора; h - высота лопаток (можно принять $h = 0,03$ м);

мощность, необходимая на преодоление трения ротора о воздух

$$N_5 = M_{тр} n / 9750, \quad (103)$$

где $M_{тр}$ - момент трения.

При турбулентном режиме

$$M_{тр} = 0,01187 r_2^2 n^2 / Re^{0,25}. \quad (104)$$

При ламинарном режиме

$$M_{тр} = 0,288 r_2^2 n^2 / Re^{0,5}. \quad (105)$$

Критическое значение критерия Рейнольдса

$$Re = \pi r_2^2 n / 15v = 1 * 10^5, \quad (106)$$

где v - кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

Общая необходимая мощность для работы центробежной семенорушки
$$N = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5) / \eta_{\text{мех}}, \quad (107)$$

где $\eta_{\text{мех}}$ - механический КПД центробежной семенорушки, равный 0,5...0,7.

Ориентировочно мощность Электродвигателя для привода центробежной семенорушки (в кВт)

$$N = (1,6 \dots 2,6) Q, \quad (108)$$

где Q - производительность центробежной семенорушки, т/ч.

Примечание. В формуле (108) большие значения коэффициента принимаются для некалиброванных семян; кроме того, он тем выше, чем выше влажность семян.

П р и м е р 5. Требуется определить диаметр бичевого барабана семенорушки, предназначенной для обрушивания семян подсолнечника влажностью 6,5 %. Определяем удельную работу разрушения семенной оболочки:

$$A_c = 185,4 + 20 w^{0,705} = 185,4 + 20 * 6,5^{0,705} = 260,2 \text{ Дж/кг.}$$

Необходимая скорость движения семян к деке (или бичей относительно семян)

$$v = 1,4 W A_c = 1,41 \wedge 260,2 = 22,74 \text{ м/с.}$$

Требуемая частота вращения бичевого барабана (в мин⁻¹)

$$n = 19,1 v/D,$$

откуда диаметр (в м) $D = 19,1v/n$.

Практикой эксплуатации семенорушек установлена оптимальная частота вращения бичевых барабанов - от 500 до 630 мин⁻¹. Следовательно,

$$D = 19,1 * 22,74 / (500 \dots 630) = 0,689 \dots 0,869 \text{ м. Принимаем } D = 0,75 \text{ м.}$$

Пример 6. Для обрушивания 150 т/сут семян подсолнечника влажностью 8 % можно использовать либо три бичевые семенорушки МРН, либо одну центробежную рушку. Какой из вариантов энергетически выгоднее?

При использовании бичевых семенорушек МРН необходимая мощность привода одной машины (в кВт)

$$N_1 = [Q A_c + 0,01 D^2 n^2 (0,01 D h a + 0,257 Q)] / (1000 \eta).$$

здесь Q - секундная производительность машины, кг.

$$Q = 50000 / (24 * 3600) = 0,579 \text{ кг/с;}$$

A_c - удельная работа разрушения семенной оболочки.

$$A_c = 185,4 + 20 w^{0,705} = 185,4 + 20 * 8^{0,705} = 272 \text{ Дж/кг.}$$

Из технической характеристики семенорушки МРН находим:

$$D = 0,8 \text{ м; } l = 0,972 \text{ м; } a = 0,08 \text{ м; } n = 500 \dots 630 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем КПД привода $\eta = 0,35$. Тогда

$$N_1 = [0,579 * 272 + 0,01 * 0,8^2 * 630^2 * (0,01 * 0,8 * 630 * 0,972 * 0,08 + 0,257 * 0,579)] / (1000 * 0,35) = 4,375 \text{ кВт.}$$

Ближайшая стандартная мощность электродвигателя 5,5 кВт. Следовательно, общая мощность привода трех бичевых семенорушек

$$N = 3 N_1 = 3 * 5,5 = 16,5 \text{ кВт.}$$

При использовании центробежной семенорушки мощность электродвигателя

$$N = (1,6 \dots 2,6) Q = (1,6 \dots 2,6) * 150 / 24 = 10 \dots 16,25 \text{ кВт.}$$

С учетом того, что влажность семян невысока, принимаем $P = 11$ кВт. Таким образом, при использовании центробежной семенорушки вместо трех бичевых экономия электроэнергии составляет 5,5 кВт (16,5 - 11). Разумеется, экономическая эффективность применения центробежных семенорушек только этим не ограничивается.

Задача 22. Определить производительность бичевой рушки типа МРН. Исходные данные для расчета взять по таблице (10 вариантов).

Таблица

Показатели	Ед. изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число бичей		16	14	18	16	18	14	14	16	18	16
Длина бичей	м	1,1	1,0	0,9	1,0	1,1	0,9	1,1	0,9	1,0	1,0
Влажность семян	%	7	7	7	5	5	5	6	6	6	6
Диаметр барабана	м	0,8	0,9	0,7	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8
Ширина выходной ручки	мм	80	90	70	70	80	90	90	70	80	90

Задача 23. Определить производительность центробежной ручки типа А1-МРЦ. При этом определить диаметр ротора и необходимую частоту вращения ротора. Исходные данные для расчета взять по таблице (10 вариантов).

Таблица

Показатели	Ед.изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число каналов		14	18	16	16	14	18	18	16	14	16
Начальный радиус канала	мм	70	80	90	80	90	70	90	70	80	80
Влажность семян	%	6	6	6	7	7	7	5	5	5	5

Задача 24. Определить требуемую мощность для работы бичевой ручки типа МРН. Исходные данные для расчета взять по таблице задачи 22 (10 вариантов).

Задача 25. Определить требуемую мощность для работы центробежной ручки типа А1-МРЦ. Исходные данные для расчета взять по таблице задачи 23.

Задача 26. В рушально-вечном отделении (РВО) маслозавода производительностью 680 т/сут семян подсолнечника влажностью 7% установлены семенорушки МРН. Рассчитайте экономию электроэнергии за счет установки в РВО вместо них центробежных семенорушек производительностью до 180 т/сут каждая.

Технологическое оборудование для тепловой обработки сырья

Подогреватели

Теплообменное оборудование по циклу работы может быть периодического и непрерывного действия. К аппаратам периодического действия относятся варочные котлы открытого и закрытого типов полезной вместимостью от 12 до 200 л, с механическими мешалками и без них. Непрерывный цикл тепловой обработки осуществляется в мезеяковых, пленочных теплообменных аппаратах и др.

Производительность Π (в кг/с) аппаратов периодического действия в общем случае определяется по формуле

$$\Pi = m / \tau_{\text{ц}}, \quad (1)$$

или с учетом влажности продукта

$$\Pi = m (100 - W_1) / \tau_{\text{ц}} (100 - W_2), \quad (2)$$

где m - масса загруженного в аппарат продукта, кг; $\tau_{\text{ц}}$ - продолжительность технологического цикла, с; W_1 - влажность загружаемого продукта, %; W_2 - влажность готового продукта, %.

Технологический цикл состоит из загрузки продукта в котел, обработки продукта и разгрузки котла. Следовательно,

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_z + \tau_o + \tau_p, \quad (3)$$

где τ_z , τ_o , τ_p - время, необходимое соответственно для загрузки продукта в котел, его обработки и разгрузки котла, с.

Массу m (в кг) загружаемого в аппарат продукта рассчитывают по рабочей вместимости аппарата:

$$m = \rho V \varphi, \quad (4)$$

где ρ - плотность загружаемого продукта, кг/м³; V - внутренний объем или вместимость аппарата, м³; φ - коэффициент заполнения объема аппарата (для аппаратов с мешалками $\varphi = 0,75 \dots 0,85$).

Зная производительность аппарата и массу загружаемого продукта, можно определить вместимость аппарата (в м):

$$V = \Pi \tau_{\text{ц}} / \rho \varphi \quad (5)$$

Для сферических аппаратов объем сферической части

$$V_c = 2/3 \pi R^3, \quad (6)$$

откуда находят радиус полусферы аппарата (в м³):

$$R = \sqrt[3]{(1,5 V / \pi)} = \sqrt[3]{(0,478 V)}. \quad (7)$$

Диаметр D (в м) цилиндрической части аппарата с плоским или сферическим днищем определяется по формуле

$$D = \sqrt[3]{[V / (0,785k_1 + 2k_2)]}, \quad (8)$$

где $k_1 = H/D$ - коэффициент, зависящий от конструкции аппарата (для котлов со сферическим днищем $k_1 = 0,1 \dots 0,5$; с плоским днищем - $0,1 \dots 1$); k_2 - коэффициент, учитывающий форму днища (для котлов с плоским днищем $k_2 = 0$; со сферическим днищем - $0,071$; с коническим днищем - $k_2 = \pi / (48 \operatorname{tg} \alpha_0)$, где α_0 - угол между диаметром аппарата и образующей конуса, град).

Высота H (в м) цилиндрической части вертикальных аппаратов

$$H = k_1 D. \quad (9)$$

Общее количество теплоты $Q_{\text{общ}}$ (в Дж), затрачиваемое на проведение процесса, определяют как сумму статей расхода теплоты:

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n, \quad (10)$$

где Q_1 , Q_2 , Q_3 , - расход теплоты соответственно на нагрев продукта, аппарата, на выпаривание влаги и др., Дж; Q_n - потери теплоты наружной поверхностью аппарата, Дж.

Каждую статью расхода теплоты на нагрев продукта, аппарата определяют по формуле

$$Q_{1,2} = mc(t_2 - t_1), \quad (11)$$

где m - масса нагреваемого вещества, кг; c - удельная теплоемкость нагреваемого вещества, Дж/(кг К); принимается по таблицам или рассчитывается; t_1, t_2 - соответственно начальная и конечная температуры нагреваемого вещества, °С.

Расход теплоты на выпаривание влаги (в Дж) определяют по формуле

$$Q_3 = W \cdot r, \quad (12)$$

где W - количество выпаренной влаги, кг; r - скрытая теплота испарения, Дж/кг; определяется по таблице термодинамических свойств пара в зависимости от температуры и давления.

Количество выпариваемой влаги рассчитывается в разных случаях по-разному: при изменении концентрации сухих веществ в продукте

$$W = m (1 - a_1/a_2) = \Pi (a_2/a_1 - 1), \quad (13)$$

где m - масса продукта, подлежащего тепловой обработке, кг; a_1 и a_2 - соответственно начальное и конечное содержание сухих веществ в продукте, %; Π - масса уваренного продукта, кг (или производительность, кг/с);

при самоиспарении перегретой жидкости

$$W = mc(t_1 - t_2)/r, \quad (14)$$

где m - масса продукта, кг; c - удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг К); t_1 и t_2 - соответственно начальная и конечная температуры продукта, °С; r - теплота испарения жидкости, Дж/кг;

при испарении с поверхности жидкости

$$W = k_{\text{исп}} F_{\text{исп}} (\rho_{\text{ж}} - f p') \tau, \quad (15)$$

где $k_{\text{исп}}$ - коэффициент пропорциональности; $F_{\text{исп}}$ - площадь поверхности испарения, м, $\rho_{\text{ж}}$ и p' - упругости насыщенных паров обрабатываемого продукта соответственно при температуре продукта (определяется по термодинамическим таблицам водяного пара) и температуре окружающего воздуха; f - относительная влажность воздуха, принимаемая в пределах 0,65...0,75; τ - продолжительность процесса испарения, с.

Коэффициент пропорциональности

$$k_{\text{исп}} = 0,0745(v\rho)^{0,8}/(133 \cdot 3600), \quad (16)$$

где v - скорость воздуха, м/с; ρ - плотность воздуха, кг/м³.

v	0,5	1,0	1,5	2,0
$k_{\text{исп}}$	0,036	0,083	0,114	0,145

Потери теплоты наружной поверхностью аппарата (в Дж)

$$Q_{\text{п}} = F_{\text{а}} \alpha_0 (t_{\text{ст}} - t_{\text{в}}), \quad (17)$$

где $F_{\text{а}}$ - площадь поверхности аппарата, м²; α_0 - суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² К); $t_{\text{ст}}$ и $t_{\text{в}}$ - средняя температура соответственно поверхности стенки и окружающего воздуха, °С.

Для аппаратов, работающих в закрытых помещениях и при температуре стенки аппарата ниже 150 °С, суммарный коэффициент теплоотдачи определяют по эмпирической формуле

$$\alpha_0 = 9,74 + 0,07(t_{\text{ст}} - t_{\text{в}}), \quad (18)$$

где 9,74 и 0,07 - эмпирические коэффициенты, имеющие размерность соответственно Вт/(м² К) и Вт/м².

Площадь поверхности аппарата подсчитывается как сумма площадей простых геометрических тел (рис. 1), из которых состоит аппарат, - цилиндра и сферы:

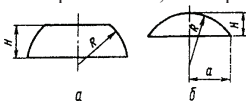
$$F_{\text{а}} = F_{\text{ц}} + F_{\text{с}}, \quad (19)$$

$$\text{где } F_{\text{ц}} = \pi D H = 2 \pi R H; \quad (20)$$

$$F_{\text{с}} = 2\pi R H = \pi(a^2 + H^2), \quad (21)$$

где D - диаметр цилиндрической части аппарата, м; H - высота цилиндрической или сферической части аппарата, м; R - радиус наружной сферической части аппарата, м.

Рис. 1. Схема к расчету площади поверхности сферической части аппарата:
 а - шаровой пояс; б - шаровой сегмент



Площадь поверхности нагрева аппарата (в м²)

$$F_n = Q_{\text{общ}} / (k \Delta t), \quad (22)$$

где $Q_{\text{общ}}$ - общее количество теплоты, Дж, k - коэффициент теплопередачи, Вт/(м²К);
 Δt - средняя разность между температурами теплоносителя (t_{n1} и t_{n2} и среды (t_1 и t_2), воспринимающей теплоту, °С (средний температурный напор).

Если известна производительность аппарата Π (в кг/с), то площадь поверхности нагрева (в м²) можно определить из выражения

$$F_n = \Pi c (t_2 - t_1) x / (k \Delta t), \quad (23)$$

где c - средняя теплоемкость нагреваемой среды, Дж/(кг К) берется из таблиц; x - коэффициент, равный 1,03...1,05.

Средний температурный напор и коэффициент теплопередачи k от теплоносителя к нагреваемой среде определяют по известным формулам.

Объем и содержание теплового и конструктивного расчетов подогревателя определяются его типом. Наиболее характерные случаи рассмотрим на примерах. Пример 1. Предположим, имеется варочный котел диаметром 915 мм, в котором нагревается томатный соус с содержанием сухих веществ 28 %. Начальная температура соуса 18 °С, конечная 98 °С. Давление греющего пара 0,4 МПа. Температура воздуха в цехе 18 °С. Коэффициент теплопередачи 700 Вт/(м² К). Сферическая часть аппарата заполнена продуктом на 100 %. Внутренняя чаша изготовлена из меди, паровая рубашка - стальная. Требуется определить производительность котла и расход греющего пара. Производительность котла (в кг/ч)

$$G_1 = G / (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3). \quad (24)$$

Нам неизвестны значения G и τ_2 .

$$G = V \rho \phi, \quad (25)$$

где ϕ - коэффициент заполнения чаши котла ($\phi = 1$).

Вместимость сферической части котла (в м³)

$$V = 2,093R^3 = 2,093 * 0,4575^3 = 0,2 \text{ м}^3 = 200 \text{ л}. \quad (26)$$

Зная V , определяем массу загружаемого в котел томатного соуса, плотность которого при содержании сухих веществ 28 % равна 1120 кг/м³, т.е.

$$G = 0,2 * 1120 * 1 = 224 \text{ кг}.$$

Значение τ_2 находим из следующей формулы:

$$\tau_2 = Q_{\text{общ}} / F k \Delta t_{\text{ср}}. \quad (27)$$

Площадь поверхности нагрева котла

$$F = 2\pi R^2 = 2 * 3,14 * 0,4575^2 = 1,31 \text{ м}^2. \quad (28)$$

Расход теплоты на нагревание соуса

$$Q_1 = G c (t_2 - t_1) = 224 * 3,3 * (98 - 18) = 59136 \text{ кДж},$$

здесь c - удельная теплоемкость соуса, равная 3,3 кДж/(кг К).

Чтобы определить расход теплоты на испарение влаги Q_2 , находим W :

$$W = K_{\text{исп}} F_{\text{исп}} (\rho_{\text{ж}} - \phi \rho'_{\text{ж}}) \tau, \quad (29)$$

где $K_{\text{исп}}$ - коэффициент пропорциональности, зависящий от скорости движения воздуха над продуктом и физических свойств жидкости. При скорости движения воздуха 0,5 м/с $K_{\text{исп}} = 129 * 10^{-9}$ кг/(м² с Па); $F_{\text{исп}}$ - площадь поверхности испарения, м².

$$F_{\text{исп}} = 0,785 D^2 \quad (30)$$

$\rho_{\text{ж}}$ - упругость насыщенных паров жидкости при данной температуре. Па; $\rho'_{\text{ж}}$ - упругость насыщенных паров жидкости при температуре окружающего воздуха, Па; ϕ -

относительная влажность воздуха (принимая ее равной 0,7); τ - продолжительность испарения, с.

Средняя температура продукта в котле

$$t_{cp} = (18 + 98) / 2 = 58^\circ\text{C}.$$

Упругость паров при $t_{cp} = 58^\circ\text{C}$ составляет 18146 Па, при температуре 18°C - 2062,6 Па. Продолжительность процесса неизвестна, следовательно, $W = 129 \cdot 10^{-9} \cdot 0,785 \cdot 0,915^2 (18146 - 0,7 \cdot 2062,6) \tau = 0,00142 \tau$ кг.

При температуре 58°C удельная теплота испарения составляет 2363,3 кДж/кг. Тогда $Q_2 = W \cdot r = 0,00142 \tau \cdot 2363,3 = 3,36 \tau$ кДж.

Расход теплоты на нагревание медной чаши (в кДж)

$$Q_3 = G_{м.ч} c_m (t_2 - t_1), \quad (31)$$

где $G_{м.ч}$ - масса медной чаши, кг; c_m - удельная теплоемкость меди, равная 0,394 кДж/(кг К); t_2 и t_1 - конечная и начальная температура чаши, $^\circ\text{C}$.

Масса медной чаши

$$G_{м.ч} = 2 \pi R^2 \delta \rho_m = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,4575^2 \cdot 0,006 \cdot 8800 = 69,4 \text{ кг}, \quad (32)$$

где R - радиус чаши, м; δ - толщина стенки чаши (принимая $\delta = 0,006$ м); ρ_m - плотность меди ($\rho_m = 8800$ кг/м³).

Следовательно,

$$Q_3 = 69,4 \cdot 0,394 \cdot (98 - 18) = 2187,5 \text{ кДж}.$$

Аналогично определяем расход теплоты Q_4 на нагревание стальной паровой рубашки котла, рассчитав предварительно массу паровой рубашки (в кг),

$$G_{пр} = 2 \pi R_1^2 \delta_1 \rho_{ст}, \quad (33)$$

где R_1 - радиус паровой рубашки, м; $\rho_{ст}$ - плотность стали, кг/м³; δ_1 - толщина стенки паровой рубашки, м.

В свою очередь, радиус паровой рубашки равен сумме радиуса чаши и зазора между внутренней поверхностью паровой рубашки и внешней поверхностью чаши котла. При величине зазора 0,05 м $R_1 = 0,5075$ м. При толщине стенки паровой рубашки 0,01 м и плотности стали 7900 кг/м³

$$G_{пр} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5075^2 \cdot 0,01 \cdot 7900 = 127,78 \text{ кг}.$$

Тогда расход теплоты на нагревание паровой рубашки

$$Q_4 = 127,78 \cdot 0,48 \cdot (143,6 - 18) = 7703,6 \text{ кДж},$$

где 0,48 - удельная теплоемкость стали, кДж/(кг К).

Потери теплоты в окружающее пространство Q_5 находят по формуле

$$Q_5 = F_a \alpha_0 (t_{ст} - t_{в}) \tau,$$

Площадь наружной поверхности аппарата

$$F_a = 2 \pi R_2^2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5175^2 = 1,68 \text{ м}^2,$$

где R_2 - наружный радиус паровой рубашки, м.

$$R_2 = R_1 + \delta_1 = 0,5075 + 0,01 = 0,5175 \text{ м}.$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_0 = 9,3 + 0,058 t_{ст} = 9,3 + 0,058 \cdot 143,6 = 17,63 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)} = 0,01763 \text{ кВт/(м}^2 \text{ К)}.$$

Тогда

$$Q_5 = 1,68 \tau (143,6 - 18) \cdot 0,01763 = 3,72 \tau \text{ кДж}.$$

Общий расход теплоты (в кДж)

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5. \quad (34)$$

Но

$$Q_{общ} = Fk \Delta t_{cp}$$

откуда

$$\tau = Q_{общ} / (Fk \Delta t_{cp}),$$

где k - коэффициент теплопередачи от пара к соусу [$k = 0,7$ кВт/(м² К)].

Средняя разность температур

$$\Delta t_{cp} = [(143,6 - 18) - (143,6 - 98)] / 2,3 \lg[(143,6 - 18) / (143,6 - 98)] = 79^\circ\text{C}.$$

Следовательно,

$$Q_{\text{общ}} = 59136 + 3,36\tau + 2187,5 + 7703,6 + 3,72\tau = 1,31 \cdot 0,7 \cdot 79\tau,$$

откуда (с учетом того, что в нашем случае τ есть τ_2)

$$\tau_2 = 69027,1/65,363 = 1056 \text{ с.}$$

Часовую производительность котла при продолжительности загрузки 300 с и выгрузки 425 с (значениями τ_1 и τ_3 задаемся) находим по формуле (24):

$$G_1 = G/(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) = 224 \cdot 3600/(300 + 1056 + 425) = 452,78 \text{ кг/ч.}$$

Расход греющего пара за цикл

$$D_{\text{ц}} = Q_{\text{общ}} / (i - i_k) = 76499,8/2133 = 35,86 \text{ кг.}$$

Интенсивность расхода пара (в кг/ч)

$$D = D_{\text{ц}} \cdot 3600/\tau_2 = 35,86 \cdot 3600/1056 = 122,27.$$

При ориентировочных расчетах расход греющего пара (кг за цикл)

$$D_{\text{ц}} = (5,25 \dots 5,5) (0,26 d^2 \rho c_1 \Delta t_1 + G_2 c_2 \Delta t_2 + G_3 c_3 \Delta t_3) \cdot 10^{-4}, \quad (35)$$

где d - диаметр чаши котла, м; ρ - плотность продукта, кг/м³; c_1 - удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг К); Δt_1 - разность конечной и начальной температуры продукта, °С; G_2 - масса чаши котла, кг; c_2 - удельная теплоемкость материала чаши котла, кДж/(кг-К); Δt_2 - разность конечной и начальной температуры чаши котла, °С ($\Delta t_1 = \Delta t_2$); G_3 - масса паровой рубашки, кг; c_3 - удельная теплоемкость материала паровой рубашки, кДж/(кг К); Δt_3 - разность конечной и начальной температуры паровой рубашки, °С.

Расход греющего пара для котлов Д9-41А и 28А (в кг за цикл)

$$D_{\text{ц}} = 10^{-4} \Delta t_1 (0,71 \rho c_1 + 240) + 6; \quad (36)$$

для котлов 5А и 27А

$$D_{\text{ц}} = 10^{-4} \Delta t_1 (0,32 \rho c_1 + 155) + 4,5; \quad (37)$$

для котла К7-ФВА

$$D_{\text{ц}} = 10^{-4} (1,05 \rho c_1 + 320) + 3; \quad (38)$$

для котлов МЗ-2С-241а и МЗДС-241б

$$D_{\text{ц}} = 10^{-4} (0,73 \rho c_1 + 315) + 3. \quad (39)$$

ЗАДАЧИ:

Задача 1. В подогреватель периодического действия загружено 0,7 м³ бульона плотностью 1130 кг/м³. Определите производительность аппарата, если известно, что продолжительность загрузки продукта в подогреватель 340 с, выгрузки 250 с, подогревания 540 с.

Задача 2. В варочный котел за 150 с загружено 0,15 м³ заливки плотностью 1040 кг/м³. Продолжительность подогревания заливки 720 с, выгрузки 90 с. Рассчитайте секундную производительность подогревателя.

Задача 3. Проведите тепловой расчет котла вместимостью 60 л, в котором нагревается 10%-ный сахарный сироп с 30 до 80°С. Коэффициент заполнения чаши котла продуктом 1. Цилиндрическая часть аппарата свободна. Толщина стенки медной чаши 0,008 м, толщина стенки чугунной паровой рубашки 0,016 м, тепловая изоляция отсутствует. Внутренний диаметр чаши котла 0,59 м, внутренний диаметр паровой рубашки 0,68 м. Давление греющего пара 0,3 МПа. Коэффициентом теплопередачи от пара к сиропу задайтесь. Количество влаги, испаряющейся с поверхности продукта, примените по графику (см. рис. 2).

Задача 4. В сборнике-подогревателе находится 0,25 м³ рассола концентрацией 7%. Площадь поверхности нагрева аппарата 2 м², давление греющего пара в паровой камере 0,118 МПа. Масса чаши 120 кг, масса паровой рубашки 150 кг, материал аппарата - нержавеющая сталь. Коэффициент теплопередачи 905 Вт/(м² К). Диаметр чаши по внутренней поверхности 690 мм. Определите расход пара на нагревание рассола с 20 до 70°С и интенсивность расхода пара, если потери теплоты составляют 3% остальных ее затрат, а аппарат сверху плотно закрыт крышкой.

Задача 5. Рецептурная смесь плотностью 1390 кг/м³ с начальной влажностью 45% нагревается в варочном котле вместимостью 150 л. Рассчитайте часовую

производительность котла, если в конце тепловой обработки влажность рецептурной смеси снижается до 30%. При расчете принять время технологического цикла 2400 с, коэффициент заполнения чаши котла 0,8.

Задача 6. Производительность варочного котла периодического действия 0,052 кг/с по полуфабрикату плотностью 1340 кг/м³. Определите внутренний объем котла и высоту цилиндрической части аппарата, если коэффициент заполнения чаши котла 0,85, время тепловой обработки 45 мин, а время вспомогательных операций 15% от времени тепловой обработки.

Задача 7. Во время уваривания сиропа концентрация сухих веществ в нем увеличилась с 30 до 79%, при этом выпарилось 155 кг воды. Рассчитайте, сколько сиропа нужно загрузить в котел и какова его полезная вместимость, если плотность сиропа 1411 кг/м³, а коэффициент заполнения чаши 0,88.

Задача 8. Рецептурная смесь с содержанием сухих веществ 55% уваривают в варочном котле вместимостью 150 л. Медная чаша массой 50 кг помещена в стальную паровую рубашку и заполнена рецептурной смесью на 90%. Определите технологический цикл тепловой обработки рецептурной смеси, если концентрация сухих веществ повысилась до 74%. Площадь поверхности нагрева котла 0,63 м²; средний коэффициент теплопередачи 900 Вт/(м² К); масса стальной паровой рубашки 65 кг; скрытая теплота испарения 2351 кДж/кг; удельная теплоемкость рецептурной смеси, материала чаши и паровой рубашки соответственно равна 2790, 394 и 480 Дж/(кг К). В паровую рубашку подается водяной пар давлением 396 кПа.

Задача 9. Производительность варочного аппарата 0,139 кг/с по карамельной массе с содержанием сухих веществ 97%. Определите расход теплоты на нагрев сиропа и выпаривание влаги из него, если в варочный аппарат поступает сироп при температуре 20°C и содержании сухих веществ 85%. Скрытая теплота испарения 2326 кДж/кг; температура сиропа на выходе из аппарата 125°C; удельная теплоемкость уваренного сиропа 1968 Дж/(кг К).

Задача 10. В машине охлаждается 800 кг/ч карамельной массы, температуры которой на входе и выходе соответственно равны 130 и 95°C. Вычислите, какое количество теплоты необходимо отводить от карамельной массы в процессе охлаждения.

Задача 11. В процессе охлаждения карамельной массы отвели 20500 Вт теплоты. Температура карамельной массы на входе и выходе соответственно равны 135 и 95°C, охлаждающей воды - 15 и 25°C. Рассчитайте необходимую площадь поверхности охлаждения у машины при среднем коэффициенте теплопередачи 200 Вт/(м² К).

Обжарочные аппараты

В обжарочных печах с сетками число одновременно находящихся в ванне сеток

$$n = \Pi / q, \quad (40)$$

где Π - производительность печи, кг/с; τ - продолжительность обжаривания, с; q - масса продукта в сетке, кг.

Вместимость одной сетки (в м³)

$$V' = q / (\rho \phi), \quad (41)$$

где ρ - насыпная плотность обжариваемого продукта, кг/м³; ϕ - коэффициент заполнения сетки, равный 0,5...0,9.

Рекомендуемая высота сетки $h = 100 \dots 200$ мм.

Площадь средней части сетки в плане (в м²)

$$f' = V' / h. \quad (42)$$

Если сетка имеет трапециевидную форму, ее площадь (в м²)

$$f = 1,1 f'. \quad (43)$$

При известной длине l' ширина сетки (в м)

$$b = f' / l'. \quad (44)$$

Длина ванны (в м)

$$L = (b+\delta)n, \quad (45)$$

где δ - зазор между сетками, м.

Ширина ванны (в м)

$$B = l' + 2\delta'', \quad (46)$$

где δ'' - зазор между сеткой и стенкой ванны, м.

Площадь зеркала масла (в м²)

$$F_3 = BL. \quad (47)$$

Площадь поверхности нагрева секции (в м²)

$$F_n = F_{уд} F_3, \quad (48)$$

где $F_{уд}$ - удельная площадь поверхности нагрева, м²/м² площади зеркала масла.

При овальной форме труб длина прямого участка боковой стенки трубы (в м)

$$\delta_1 = (P - \pi a)/2, \quad (49)$$

где P - периметр трубы, м; a - длина минимальной оси овала, м.

Длина большой оси овала (в м)

$$b_1 = \delta_1 + a. \quad (50)$$

Длина двухсекционной нагревательной камеры (в м)

$$L_1 = 2l_1 + 2s_1 + s_2. \quad (51)$$

где l_1 - длина одной секции, м; s_1 - зазор между торцевой стенкой ванны и коллектором секции, м; s_2 - зазор между коллекторами секций, м.

Длина двух секций (в м)

$$l = L - 2s_1. \quad (52)$$

Длина одной секции (в м)

$$l_1 = (l - s_2)/2. \quad (53)$$

Активная длина труб каждой секции (в м)

$$l_2 = l_1 - 2s', \quad (54)$$

где s' - диаметр или ширина (по длине ванны) коллектора, м.

Длина коллектора (по ширине ванны) (в м)

$$c = B - 0,1. \quad (55)$$

Число труб в одном ряду нагревательной камеры (в одной секции) по ширине ванны

$$K = (c + s)/(a + s), \quad (56)$$

где s - расстояние между трубами, м.

Площадь поверхности труб одной секции (в м²)

$$F_1 = P l_2 K. \quad (57)$$

Площадь поверхности коллекторов одной секции (в м²)

$$F_2 = 2(f_1 + f_2 - f_3), \quad (58)$$

где f_1 - площадь горизонтальных стенок коллектора, м²; f_2 - площадь вертикальных стенок коллектора, м²; f_3 - площадь отверстий под трубы, м².

В свою очередь,

$$f_1 = sc; \quad (59)$$

$$f_2 = h_1 c, \quad (60)$$

где h_1 - высота коллектора, м.

Площадь поверхности нагрева одной секции (в м²)

$$F'_n = F_1 + F_2. \quad (61)$$

Общая площадь поверхности нагрева печи (в м²)

$$F_n = 2F'_n \quad (62)$$

Общий расход теплоты в обжарочной печи (в кДж/с)

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (63)$$

Расход теплоты на нагревание продукта (в кДж/с)

$$Q_1 = \Pi c(t_4 - t_3), \quad (64)$$

где Π - производительность печи по сырью, кг/с; c - удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг К); t_3 , t_4 - соответственно начальная и конечная температура продукта, °С.

Расход теплоты на испарение влаги (в кДж/с)

$$Q_2 = 0,01 \text{Пх}_{\text{нг}}, \quad (65)$$

где $x_{\text{н}}$ - истинный процент ужарки; γ - удельная теплота испарения, кДж/кг.

Расход теплоты на нагревание сеток (в кДж/с)

$$Q_3 = \text{П} m_{\text{к}} c_1 (t_2 - t_0) / m_{\text{пр}}, \quad (66)$$

где $m_{\text{к}}$ - масса сетки, кг; c_1 - удельная теплоемкость стали, кДж/(кг К); t_2 - средняя температура активного слоя масла, °С; t_0 - начальная температура сеток, °С; $m_{\text{пр}}$ - масса продукта в сетке, кг.

Расход теплоты на нагревание доливаемого масла (в кДж/с)

$$Q_4 = 0,01 \text{ПМ} c_2 (t_2 - t_1), \quad (67)$$

где M - расход масла, % к массе сырья; c_2 - удельная теплоемкость масла, кДж/(кг • К); t_1 - начальная температура масла, °С.

Расход теплоты на нагревание охлаждающей воды (в кДж/с)

$$Q_5 = \text{П} c_{\text{в}} V (t_6 - t_5), \quad (68)$$

где $c_{\text{в}}$ - удельная теплоемкость воды, кДж/(кг К); V - удельный расход воды, кг/кг сырья; t_6 - конечная температура охлаждающей воды, °С; t_5 - начальная температура охлаждающей воды, °С.

Потери теплоты в окружающее пространство (в кДж/с)

$$Q_6 = F_a a_0 (t_7 - t_8), \quad (69)$$

где F_a - площадь поверхности аппарата, м²; a_0 - суммарный коэффициент теплоотдачи, кВт/(м² К); t_7 - температура поверхности аппарата, °С; t_8 - температура воздуха, °С.

Производительность обжарочных печей с сетчатыми конвейерными лентами рассчитывают по формуле производительности транспортного конвейера (119).

Мощные приводы печей, транспортные устройства которых имеют тяговые цепи, определяют методом обхода по контуру, при этом усилие натяжения цепей в исходной точке принимают равным 4...6 кН, а КПД привода (с учетом применения электродвигателя постоянного тока и малой частоты вращения ротора) составляет 0,2...0,3.

Расход греющего пара (в кг/ч) в обжарочной печи АПМП-1 с достаточной точностью может быть найден по формуле

$$D = (1,14...1,16) G [c \Delta t + 22,6 x_{\text{н}} + (1,3...1,7) \Delta t_{\text{н}}] / \gamma_1, \quad (70)$$

где G - производительность печи, кг/с; c - удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг К); Δt - разность конечной и начальной температуры продукта, °С (конечную температуру принимают равной 100 °С); $x_{\text{н}}$ - истинная ужарка сырья, %; $\Delta t_{\text{н}}$ - разность конечной и начальной температуры охлаждающей воды, °С, γ_1 - удельная теплота конденсации греющего пара, кДж/кг.

Расход греющего пара в универсальной паровой плите КИП-1 (в кг за цикл)

$$D = 1,03(21,6 \rho_{\text{см}} c_{\text{см}} + 0,01 G_{\text{с}} x_{\text{н}} \gamma + 150 \Delta t_{\text{н}}) / \gamma_1, \quad (71)$$

где $\rho_{\text{см}}$ - плотность смеси жира и сырья, кг/м³; $c_{\text{см}}$ - удельная теплоемкость смеси жира и сырья, кДж/(кг К); $G_{\text{с}}$ - масса сырья в плите (без жира), кг; γ_1 - удельная теплота испарения, кДж/кг; $\Delta t_{\text{н}}$ - разность конечной и начальной температуры плиты, °С.

При конечной температуре продукта около 100°С и $\Delta t_{\text{н}} = 110...130$ °С расход пара в плите КИП-1 (в кг за цикл)

$$D \approx (22...25) (\rho_{\text{см}} c_{\text{см}} + 1,045 G_{\text{с}} x_{\text{н}} \gamma + 833) / \gamma_1, \quad (72)$$

В приближенных расчетах всех обжарочных аппаратов допускается считать, что расход пара (в кг/с)

$$D = (1,4...1,5) W \gamma / \gamma_1, \quad (73)$$

где W - количество влаги, испаряющейся при обжаривании, кг/с.

$$W = 0,01 \text{Пх}_{\text{нг}}; \quad (74)$$

γ - удельная теплота испарения, кДж/кг.

В автоматизированных обжарочных печах с электрическим обогревом необходимая мощность (в кВт)

$$N=Q_{\text{общ}}/\eta \quad (75)$$

где η - КПД электрических нагревателей, равный 0,6...0,75.

Задача 12. Рассчитайте расход греющего пара в обжарочной печи АПМП-1 по следующим исходным данным: производительность печи 1820 кг/ч, обжариваемое сырье - баклажаны, истинная у жарка сырья составляет 40%. Остальные величины примите самостоятельно.

Задача 13. В обжарочную плиту загрузили 80 кг лука резанного и 30 кг рафинированного подсолнечного масла. Истинная у жарка лука равна 64%. Каков при этих условиях расход греющего пара давлением 1,175 МПа?

Пастеризаторы

Коэффициент регенерации теплоты

$$E=(t'_p-t_n)/(t_n-t_n) \quad (76)$$

где t'_p - температура жидкости после подогревания в секции регенерации, °С; t_n - начальная температура нагреваемой жидкости, °С; t_n - температура пастеризации жидкости, °С.

Отсюда

$$t'_p=t_n+E(t_n-t_n) \quad (77)$$

Полный расход теплоты на нагревание жидкости (в кДж/с)

$$Q_{\text{общ}}=Q_p+Q_n \quad (78)$$

где Q_p - расход теплоты в секции регенерации, кДж/с; Q_n - то же, в секции пастеризации, кДж/с.

$$Q_p=EWc(t_n-t_n)=Wc(t'_p-t_n) \quad (79)$$

и

$$Q_n=(1-E)Wc(t_n-t_n) \quad (80)$$

где W - количество нагреваемой жидкости, кг/с; c - удельная теплоемкость нагреваемой жидкости, кДж/(кг К).

Коэффициент регенерации $E = 0,6...0,85$.

Количество теплоты, отданной охлаждающей воде (в кДж/с),

$$Q_o=Wc[(t_n-t_k)-E(t_n-t_n)] \quad (81)$$

где t_k - конечная температура жидкости (после охлаждения и выдержки), °С.

Площадь поверхности теплообмена секции регенерации (в м²)

$$F_p=Q_p/(k_p\Delta t_p) \quad (82)$$

где k_p - коэффициент теплопередачи в секции регенерации [$k_p = 1,16...1,74$ кВт/(м² К)]; Δt_p - средняя разность температур нагреваемой и охлаждаемой жидкости, °С.

$$\Delta t_p=(1-E)(t_n-t_n)=t_n-t'_p \quad (83)$$

Площадь поверхности теплообмена секции пастеризации (в м²)

$$F_n=Q_n/(k_n\Delta t_n) \quad (84)$$

где k_n - коэффициент теплопередачи в секции пастеризации [$k_n=0,925...2,1$ кВт/(м² К)]; Δt_n - средняя разность температур, °С.

$$\Delta t_n=[(t_n^h-t_n)+(t_n^k-t'_p)]/2 \quad (85)$$

здесь t_n^h и t_n^k - начальная и конечная температура теплоносителя (горячей воды), °С.

Площадь поверхности охлаждения в секции охлаждения (в м²)

$$F_o=Q_o/(k_o\Delta t_o) \quad (86)$$

где Q_o - количество теплоты, отданной охлаждающей воде в секции охлаждения, кДж/с.

$$Q_o=Wc[(t_n-t_k)-E(t_n-t_n)] \quad (87)$$

k_o - коэффициент теплопередачи в секции охлаждения [$k_o = 1,16...2,09$ кВт/(м² К)];

Δt_o - средняя разность температур в секции охлаждения, °С.

$$\Delta t_0 = [(t_p - t_0) + (t_k - t_0^k)] / 2, \quad (88)$$

здесь t_0^h и t_0^k - начальная и конечная температура охлаждающей воды, °С; t_p и t_k - температура сока перед секцией охлаждения и за ней, °С.

$$t_p'' = t_n + t_n - t_p. \quad (89)$$

Расход охлаждающей воды (в кг/с)

$$W_0 = W c (t_p'' - t_k) / [c_w (t_0^k - t_0^h)], \quad (90)$$

где c_w - удельная теплоемкость воды [$c_w = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$]

Пример 2. Требуется рассчитать пластинчатый пастеризатор, предназначенный для пастеризации при температуре 92°С 1,5 кг/с виноградного сока, содержащего 18% сухих веществ. Начальная температура сока 18°С, конечная (после охлаждения) 23°С. Коэффициент регенерации $E = 0,8$.

Температура сока после подогревания его в секции регенерации

$$t_p = t_n + E (t_n - t_n) = 18 + 0,8 (92 - 18) = 77,2^\circ\text{C}.$$

Удельная теплоемкость сока $c = 3,69 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

Расход теплоты в секции регенерации

$$Q_p = W c (t_p - t_n) = 1,5 * 3,69 * (77,2 - 18) = 327,67 \text{ кДж}/\text{с}.$$

Расход теплоты в секции пастеризации

$$Q_n = (1 - E) W c (t_n - t_n) = (1 - 0,8) * 1,5 * 3,69 * (92 - 18) = 81,92 \text{ кДж}/\text{с}.$$

Количество теплоты, отданной охлаждающей воде

$$Q_0 = W c [(t_n - t_k) - E(t_n - t_n)] = 1,5 * 3,69 * [(92 - 23) - 0,8 * (92 - 18)] = 54,24 \text{ кДж}/\text{с}.$$

Для расчета площадей поверхности теплообмена (по секциям) принимаем коэффициенты теплопередачи $k_p = 1,65$; $k_n = 1,75$; $k_0 = 1,4 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Площадь поверхности теплообмена секции регенерации

$$F_p = Q_p / (k_p \Delta t_p) = Q_p / [k_p (t_n - t_p)] = 327,67 / [1,65 (92 - 77,2)] = 13,42 \text{ м}^2.$$

Для расчета площади поверхности теплообмена секции пастеризации сначала находим среднюю разность температур в этой секции. Принимаем $t_r^h = 98^\circ\text{C}$

$$t_r^k = t_r^h - 0,2387 c (t_n - t_p) = 98 - 0,2387 * 3,69 * (92 - 77,2) = 85^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_n = [(t_r^h - t_n) + (t_r^k - t_p)] / 2 = [(98 - 92) + (85 - 77)] / 2 = 7^\circ\text{C}.$$

Площадь поверхности теплообмена секции пастеризации

$$F_n = Q_n / (k_n \Delta t_n) = 81,92 / (1,75 * 7) = 6,69 \text{ м}^2.$$

Задаемся начальной и конечной температурой охлаждающей воды:

$$t_0^h = 4^\circ\text{C}; t_0^k = 15^\circ\text{C}$$

Температура сока перед секцией охлаждения

$$t_p'' = t_n + t_n - t_p = 92 + 18 - 77,2 = 32,8^\circ\text{C}.$$

Средняя разность температур в секции охлаждения

$$\Delta t_0 = [(t_p'' - t_0^k) + (t_k - t_0^h)] / 2 = [(32,8 - 15) + (23 - 4)] / 2 = 18,4^\circ\text{C}.$$

Площадь поверхности теплообмена в секции охлаждения

$$F_0 = Q_0 / (k_0 \Delta t_0) = 54,24 / (1,4 * 18,4) = 2,11 \text{ м}^2.$$

Расход охлаждающей воды

$$W_0 = W c (t_p'' - t_k) / [4,19 (t_0^k - t_0^h)] = 1,5 * 3,69 * (32,8 - 23) / [4,19 * (15 - 4)] = 1,177 \text{ кг}/\text{с}.$$

Задача 14. Установите сколько пара давлением 0,8 МПа следует подавать в секцию пастеризации пластинчатого пастеризатора, если в секции регенерации молоко нагревается с 8 до 36°С, а в секции пастеризации - до 115°С. Расход молока составляет 3000 л/ч.

Задача 15. Рассчитайте общую площадь поверхности теплообмена пластинчатого пастеризатора производительностью 1,1 кг молока в секунду по следующим исходным данным: в секции регенерации молоко нагревается от 6 до 32°С, в секции пастеризации - до 95°С, откуда без охлаждения поступает в аппараты для сквашивания. Коэффициент теплопередачи в секции регенерации равен 0,45 кВт/(м²·К), в секции пастеризации - 6,8 кВт/(м²·К). Давление греющего пара 0,6 МПа.

Задача 16. Секция регенерации пластинчатого теплообменника имеет площадь поверхности теплообмена 6 м^2 . Достаточно ли она для нагрева молока с 10 до 45°C при производительности аппарата $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, температуре пастеризации 120°C и коэффициенте теплопередачи $k = 0,6 \text{ кВт}/(\text{м}^2\text{K})$?

Стерилизаторы

Производительность автоклава (банок в секунду)

$$P = N/\tau, \quad (91)$$

где τ - продолжительность полного цикла работы автоклава, с; N - число банок в автоклаве. Оно определяется либо из таблиц, либо по формуле

$$N = 0,785(d_k^2/d_6^2)az \quad (92)$$

здесь d_k - диаметр сетки (корзины) автоклава, м; d_6 - наружный диаметр банки, м; a - отношение высоты сетки к высоте банки (принимается ближайшее целое меньшее число); z - число сеток (корзин) в автоклаве.

Необходимое число автоклавов

$$n_a = N_n/P, \quad (93)$$

где N_n - производительность линии, банок в секунду.

Промежуток времени между очередными загрузками автоклавов (в с)

$$\tau' = N/N_n. \quad (94)$$

Продолжительность заполнения одной сетки (корзины) (в с)

$$\tau_c = N'/N_n \quad (95)$$

где N' - число банок в одной сетке.

Расход теплоты на нагревание автоклава (в кДж)

$$Q_1 = G_1 C_1 (t_c - t_1). \quad (96)$$

где G_1 - масса автоклава, кг; C_1 - удельная теплоемкость стали [$c_1 = 0,48 \text{ кДж}/(\text{кг K})$]; t_c - температура стерилизации, $^\circ\text{C}$; t_1 - начальная температура автоклава (принимается равной температуре воды в автоклаве, которая, в свою очередь, равна температуре продукта плюс $10...15^\circ\text{C}$).

Расход теплоты на нагревание сеток (в кДж)

$$Q_2 = G_2 C_2 (t_c - t_2), \quad (97)$$

где G_2 - масса сеток, кг; C_2 - удельная теплоемкость материала сеток ($c_2 = c_1$); t_2 - начальная температура сеток, $^\circ\text{C}$, принимаемая равной температуре воздуха в цехе.

Расход теплоты на нагревание банок (в кДж)

$$Q_3 = G_3 C_3 (t_c - t_3), \quad (98)$$

где G_3 - масса банок, кг; C_3 - удельная теплоемкость стекла [$C_3 = 0,835 \text{ кДж}/(\text{кг K})$]

t_3 - начальная температура банок, $^\circ\text{C}$ ($t_3 = t_1$)

Расход теплоты на нагревание продукта (в кДж)

$$Q_4 = G_4 C_4 (t_c - t_4), \quad (99)$$

где G_4 - масса продукта в банках, кг; C_4 - удельная теплоемкость продукта, $\text{кДж}/(\text{кг K})$; t_4 - начальная температура продукта, $^\circ\text{C}$.

Расход теплоты на нагревание воды в автоклаве (в кДж)

$$Q_5 = G_5 C_5 (t_c - t_1), \quad (100)$$

где G_5 - масса воды, кг; c_5 - удельная теплоемкость воды, $\text{кДж}/(\text{кг K})$; t_1 - начальная температура воды в автоклаве, $^\circ\text{C}$.

Потери теплоты в окружающее пространство (в кДж)

$$Q_6 = F_a a_0 t_1 (t_{ст} - t_b), \quad (101)$$

где F_a - площадь наружной поверхности автоклава, м^2 ; a_0 - суммарный коэффициент теплоотдачи в период нагревания, $\text{кВт}/(\text{м}^2 \text{K})$; t_1 - продолжительность нагревания, с; $t_{ст}$ - температура поверхности стенки автоклава, $^\circ\text{C}$; t_b - температура воздуха в автоклавном отделении, $^\circ\text{C}$.

Общий расход теплоты в период нагревания (в кДж)

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6. \quad (102)$$

Расход пара в период нагревания (в кг)

$$D_1 = Q_{\text{обн}} / (i - i_k) \quad (103)$$

Секундный расход пара (в кг)

$$D''_1 = D_1 / \tau_1 \quad (104)$$

Расход теплоты в период собственно стерилизации (в кДж)

$$Q_7 = F_{a_0'} \tau_2 (t_{c_1} - t_b) \quad (105)$$

где a_0' - суммарный коэффициент теплоотдачи в период собственно стерилизации, кВт/(м² К); τ_2 - продолжительность стерилизации, с.

Расход пара в период собственно стерилизации

$$D_2 = Q_7 / (i - i_k) \quad (106)$$

Секундный расход пара в период стерилизации (в кг)

$$D''_2 = D_2 / \tau_2 \quad (107)$$

Расход пара за цикл работы (в кг)

$$D_{\text{обн}} = D_1 + D_2 \quad (108)$$

Расход воды для охлаждения продукта (в кг)

$$W = 2,3 \{ (G_4 C_4 / C_5) \lg [(t_c - t_0) / (t_k - t_0)] + (G_{\text{пр}} / C_5) \lg [(t_c - t_0) / (t'_k - t_0)] \} \quad (109)$$

где t_0 - начальная температура охлаждающей воды, °С; t_c - температура стерилизации, °С; t_k - конечная температура продукта, °С; t'_k - конечная температура автоклава, сеток, банок и воды, которая принимается на 5 °С ниже конечной температуры продукта; G' - масса автоклава, сеток, банок и воды, кг; $C_{\text{пр}}$ - приведенная удельная теплоемкость, кДж/(кг К).

$$C_{\text{пр}} = [0,48 (G_1 + G_2) + 0,835 G_3 + 4,19 G_5] / (G_1 + G_2 + G_3 + G_5) \quad (110)$$

Секундный расход воды (в кг)

$$W'' = W / \tau_3 \quad (111)$$

где τ_3 - продолжительность охлаждения, с.

При ориентировочных расчетах автоклавов Б6-КАВ можно пользоваться нижеприведенными формулами (при условии, что автоклав заполнен водой, тара - стеклянная, а давление греющего пара 0,4 МПа)

расход пара на стерилизацию консервов в автоклаве Б6-КАВ-2 (в кг за цикл):

$$D = [(7823 - 4,7 N V_6) (t_c - t_1) + 96(t_c - t_2) + N(t_c - t_3) (0,835 m_6 + m_n C_n) + 300\tau] / [2738 - 2,1(t_c + t_1)] \quad (112)$$

расход пара на стерилизацию консервов в автоклаве Б6-КАВ-4 (в кг за цикл):

$$D = [(12627 - 4,7 N V_6) (t_c - t_1) + 192 (t_c - t_2) + N(t_c - t_3) (0,835 m_6 + m_n C_n) + 300\tau] / [2738 - 2,1(t_c + t_1)] \quad (113)$$

здесь N - число банок в автоклаве, шт.; V_6 - номинальная вместимость банки, л; t_c - температура стерилизации, °С; t_1 - начальная температура автоклава и воды в нем, °С; t_2 - начальная температура сеток, °С; t_3 - начальная температура банок с продуктом, °С; m_6 - масса банки (без продукта), кг; m_n - масса продукта в банке, кг; C_n - удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг К); τ - продолжительность нагревания и стерилизации (в сумме), мин.

При стерилизации паром консервов, фасованных в жестяную тару и помещенных в автоклав без воды, расход пара (в кг за цикл) с учетом продувки аппарата определяют по следующим приближенным формулам:

для Б6-КАВ-2

$$D = 1,1 [475(t_c - t_1) + 96(t_c - t_2) + N(t_c - t_3) (0,48 m_6 + m_n C_n) + 300\tau] / [2738 - 2,1(t_c + t_1)] \quad (114)$$

для Б6-КАВ-4

$$D = 1,1 [652,8 (t_c - t_1) + 192 (t_c - t_2) + N(t_c - t_3) (0,48 m_6 + m_n C_n) + 300\tau] / [2738 - 2,1(t_c + t_1)] \quad (115)$$

где приняты те же обозначения величин, что и в формулах (112) и (113).

Расход пара в целом по автоклавному отделению (в кг/ч)

$$D_i = D N_i / N \quad (116)$$

Расход греющего пара в гидростатических стерилизаторах непрерывного действия (в кг/с)

$D = [\Pi \Delta t_1 (m_1 c_1 + m_2 c_2) + 4,19 \Pi m_3 \Delta t_3 + 0,48 m_4 v \Delta t_4 + F a_0 \Delta t_5] / (i - 4,187 t_1)$, (117) где Π - производительность стерилизатора, банок/с; Δt_1 - разность конечной и начальной температуры продукта, °С; m_1 - масса банки (без продукта), кг; c_1 - удельная теплоемкость материала банки, кДж/(кг К); m_2 - масса продукта в банке, кг; C_2 - удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг К); m_3 - расход воды на долив, кг на банку; Δt_3 - разность конечной и начальной температуры воды, °С; m_4 - масса 1 м длины транспортного устройства, кг; v - скорость движения транспортного устройства, м/с; Δt_4 - разность конечной и начальной температуры конвейера, °С; F - площадь поверхности стерилизатора, м²; a_0 - суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением, кВт/(м² К); Δt_5 - разность температур поверхности стенки стерилизатора и воздуха в помещении, где он установлен, °С; i - удельная энтальпия греющего пара, кДж/кг.

Примечание. Значения конечной температуры банок, продукта, доливаемой воды, транспортного устройства принимаю равными температуре стерилизации.

Пример 3. Рассчитать число автоклавов Б6-КАВ-2 в стерилизационном отделении по следующим исходным данным: консервы расфасованы в банки 1-82-500, производительность линии 4200 банок в час. Продолжительность загрузки сеток 300 с, подогревания 1200 с, стерилизации 900 с, охлаждения 1200 с, выгрузки 300с.

Число банок 1-82-500 в одной сетке автоклава принимаем в соответствии с нормами проектирования: $N' = 435$ шт.

Число банок в автоклаве $N = N' z = 435 * 2 = 870$ шт.

Производительность автоклава

$\Pi = N / \tau = 870 / (300 + 1200 + 900 + 1200 + 300) = 0,223$ банки в секунду.

Производительность линии

$N_{\text{л}} = 4300 / 3600 = 1,167$ банок в секунду.

Необходимое число автоклавов

$n_a = N_{\text{л}} / \Pi = 1,167 / 0,223 = 5,23$. Принимаем $n_a = 6$.

Пример 4. Консервы, расфасованные в банки 1-82-500, стерилизуют в автоклаве Б6-КАВ-2. Режим стерилизации: продолжительность нагревания 1500 с, собственно стерилизации 3000 с, охлаждения 1500 с. Масса автоклава 990 кг, масса корзин 220 кг. Начальная температура автоклава и воды в нем 75 °С, сеток 25 °С, банок и продукта 70 °С. Температура стерилизации 120 °С. Площадь наружной поверхности автоклава 8,4 м². Масса воды в автоклаве 1160 кг. Масса продукта в банке 0,53 кг. Удельная теплоемкость продукта 3,68 кДж/(кг К). Давление греющего пара перед аппаратом 0,4 МПа. Рассчитать расход пара и охлаждающей воды.

Находим количество теплоты, идущей на нагревание автоклава:

$Q_1 = G_1 c_1 (t_c - t_1) = 990 * 0,48 (120 - 75) = 21384$ кДж.

Расход теплоты на нагревание сеток

$Q_2 = G_2 C_2 (t_c - t_2) = 220 * 0,48 (120 - 25) = 10032$ кДж.

Расход теплоты на нагревание банок (в двух корзинах их 870)

$Q_3 = G_3 c_3 (t_c - t_3) = 870 * 0,255 * 0,835 (120 - 70) = 9262$ кДж.

Расход теплоты на нагревание продукта

$Q_4 = G_4 C_4 (t_c - t_4) = 870 * 0,53 * 3,68 (120 - 70) = 84842$ кДж.

Расход теплоты на нагревание воды в автоклаве

$Q_5 = G_5 C_5 (t_c - t_5) = 1160 * 4,19 (120 - 75) = 218718$ кДж.

Суммарный коэффициент теплоотдачи в период нагревания при наличии теплоизоляции

$a_0 = 0,001 [9,74 + 0,07 (t_{\text{ст}} - t_{\text{в}})] = 0,001 [9,74 + 0,07 (40 - 25)] = 0,01079$ кВт/(м² К).

Потери теплоты в окружающее пространство

$Q_6 = F_a a_0 \tau_1 (t_{\text{ст}} - t_{\text{в}}) = 8,4 * 0,01079 * 1500 * (40 - 25) = 2039$ кДж.

Общий расход теплоты в период нагревания

$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 21384 + 10032 + 9262 + 84842 + 218718 + 2039 = 346277$ кДж.

Расход пара в период нагревания.

$$D_1 = Q_{\text{общ}} / (i - i_k) = 346277 / [2738 - 2,1(120 + 75)] = 148,68 \text{ кг.}$$

Расход пара

$$D'_1 = D_1 / \tau_1 = 148,68 / 1500 = 0,099 \text{ кг/с.}$$

Расход теплоты в период собственно стерилизации (в кДж)

$$Q_7 = F_{a'a'} \tau_2 (t_{ct} - t_b)$$

С учетом того, что автоклав покрыт теплоизоляцией и температура стенки в период нагревания и собственно стерилизации практически одинакова, принимаем $a'_0 = a_0 = 0,01079 \text{ кВт/(м}^2 \text{ К)}$.

$$\text{Тогда } Q_7 = 8,4 * 0,01079 * 3000 * (40 - 25) = 4079 \text{ кДж.}$$

Расход пара в период собственно стерилизации

$$D_2 = Q_7 / (i - i_k) = 4079 / (2738 - 4,19 * 120) = 1,824 \text{ кг.}$$

Расход пара за цикл работы

$$D_{\text{общ}} = D_1 + D_2 = 148,68 + 1,82 = 150,5 \text{ кг.}$$

Приведенная удельная теплоемкость

$$C_{\text{пр}} = [0,48(990 + 220) + 0,835 * 870 * 0,255 + 4,19 * 1160] / (990 + 220 + 870 * 0,255 + 1160) = 1,17 \text{ кДж/(кг К)}$$

Расход воды на охлаждение продукта

$$W = 2,3 \{ (G_4 C_4 / C_3) \lg [(t_c - t_0) / (t_k - t_0)] + (G' C_{\text{пр}} / C_5) \lg [(t_c - t_0) / (t'_k - t_0)] \} = 2,3 \{ (461,1 * 3,68 / 4,19) \lg (120 - 18) / (45 - 18) \} + (2591,85 * 2,17 / 4,19) \lg (120 - 18) / (40 - 18) \} = 2593,6 \text{ кг.}$$

Секундный расход воды

$$W'' = W / \tau_3 = 2593,6 / 1500 = 1,729 \text{ кг/с.}$$

Задача 17. Найдите расход греющего пара давлением 0,392 МПа на стерилизацию консервов "Компот абрикосовый" в банках 1-82-500. Число банок в автоклаве 870, масса нетто банки 0,56 кг. Начальная температура продукта 50°C, температура пастеризации 100°C. Продолжительность подъема температуры 1200 с, пастеризации - 900, охлаждения 1200 с. Температура продукта после охлаждения 40°C. Стерилизация проводится в вертикальном двухсеточном автоклаве Вместимость автоклава 1755 л, его масса 990 кг, площадь наружной поверхности 8,4 м². Начальная температура воды в автоклаве 40°C, сеток 25°C. Масса одной сетки 110 кг.

Задача 18. По данным задачи 17 определите расход воды на охлаждение консервов после стерилизации (пастеризации), если температура охлаждающей воды 15°C.

Задача 19. Рассчитайте расход воды на охлаждение консервов в автоклаве по следующим данным: масса автоклава 1360 кг, масса сеток 440 кг, масса воды в аппарате 1380 кг, масса продукта в одной банке 0,53 кг, общее число банок 1-82-500 1740 штук, удельная теплоемкость продукта 3,8 кДж/(кг К), температура стерилизации 112°C, конечная температура продукта 45°C, начальная температура охлаждающей воды 20°C.

Задача 20. В вертикальном автоклаве Б6-КАВ-4, масса которого 1360 кг, а площадь наружной поверхности 13,15 м², стерилизуются консервы "Сок томатный" в бутылках 1-82-3000. Начальная температура сока 95°C, температура стерилизации 120°C. Продолжительность прогревания 1500 с, стерилизации 1500 с, охлаждения 1800 с. Масса нетто продукта в одной бутылки 3,06 кг, общая масса сеток 440 кг, их начальная температура 24°C. Начальная температура автоклава и воды в нем 100°C. Температура охлаждающей воды 16°C. Определите расход греющего пара и охлаждающей воды в автоклаве.

Бланширователи и развариватели

Производительность ковшового бланширователя (в кг/с)

$$P = vq/a, \quad (118)$$

где v - скорость движения цепей с ковшами, м/с; q - масса продукта в одном ковше, кг; a - шаг (расстояние между центрами) ковшей, м.

Производительность ленточного бланширователя определяется по формуле транспортной производительности (119), при этом коэффициент заполнения ленты принимается в пределах от 0,75 до 1.

$$P = bhv\rho_f, \quad (119)$$

где h - высота слоя груза на ленте; при размещении плодов и овощей в один слой можно считать, что $h \approx d_{cp}$ (где d_{cp} - средний размер плода, м).

Производительность шнекового и барабанного бланширователей находится по формуле (120), но численные значения входящих в формулу величин (диаметра, шага, частоты вращения винта, коэффициента заполнения желоба или барабана) при этом отличаются от рекомендованных для винтовых конвейеров.

$$P = 0,0131 D^2 S n \rho \varphi C, \quad (120)$$

или (в кг/ч)

$$Q = 47,1 D^2 S n \rho \varphi C. \quad (121)$$

Мощность привода ленточных, ковшовых и шнековых бланширователей рассчитывается по методикам для транспортеров.

Мощность электродвигателя для привода барабанного бланширователя (в кВт).

$$N = (0,000045 \dots 0,00006) R n (G_1 + 13G_2), \quad (122)$$

где R - радиус барабана, м; n - частота вращения барабана, мин⁻¹; G_1 - масса барабана, кг; G_2 - масса продукта в барабане, кг.

Тепловой расчет бланширователей ведется с целью определить расход теплоносителя и охлаждающей воды.

Расход пара (в кг/с)

$$D = Q_{общ} / (i - i_k), \quad (123)$$

где $Q_{общ}$ - общий расход теплоты, кДж/с; i - удельная энтальпия греющего пара, кДж/кг; i_k - удельная энтальпия конденсата, кДж/кг.

Общий расход теплоты при бланшировании водой (в кДж/с)

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5. \quad (124)$$

Расход теплоты на нагревание продукта (в кДж/с)

$$Q_1 = \Pi c \Delta t_n \quad (125)$$

где Π - производительность бланширователя, кг/с; c - удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг К); Δt_n - разность конечной и начальной температуры продукта (конечная температура принимается на 2...3°C ниже температуры воды в ванне).

Расход теплоты на испарение влаги с поверхности водяного зеркала (в кДж/с)

$$Q_2 = AKg(p_1 - p_2), \quad (126)$$

где A - площадь поверхности испарения воды, м²; K - коэффициент испарения, кг/(м² с Па).

$$K = 10^{-7} (v_b \cdot p)^{0,8} \quad (127)$$

здесь v_b - скорость движения воздуха, м/с; p - плотность воздуха, кг/м³; p_1 и p_2 - соответственно давление паров воды при температуре испарения и температуре воздуха. Па; φ - относительная влажность воздуха, %; g - удельная теплота испарения, кДж/кг (определяется по температуре бланширования).

Расход теплоты на нагревание доливаемой воды (в кДж/с)

$$Q_3 = W c_b \Delta t_b \quad (128)$$

где W - масса доливаемой воды, кг/с; c_b - удельная теплоемкость воды, кДж/(кг К); Δt_b - разность конечной и начальной температуры доливаемой воды, °С.

Расход теплоты на нагревание доливаемой воды не учитывают, если масса конденсата больше массы испаряющейся влаги.

Расход теплоты на нагревание ленты конвейера, цепей с ковшами (в кДж/с)

$$Q_4 = m \cdot C_k \cdot \Delta t_k, \quad (129)$$

где m - масса 1 м конвейера, кг; C_k - удельная теплоемкость материала конвейера, кДж/(кг К); Δt_k - разность конечной и начальной температуры ленты конвейера, °С.

Потери теплоты в окружающую среду (в кДж/с)

$$Q_5 = F \alpha_0 (t_{ct} - t_a), \quad (130)$$

где F - площадь наружной поверхности бланширователя, м²; α_0 - суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением, кВт/(м² К); t_{ct} - средняя температура поверхности бланширователя, °С; t_a - температура воздуха в цехе, °С.

Общий расход теплоты при бланшировании продукта паром (в кДж/с)

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (131)$$

где Q_1 - расход теплоты на нагревание продукта, кДж/с; Q_2 - расход теплоты на нагревание ленты конвейера, кДж/с; Q_3 - потери теплоты от стенок аппарата, кДж/с; Q_4 - потери теплоты в связи с утечкой пара из-за негерметичности аппарата, кДж/с. При наличии вытяжной трубы они составляют от 50 до 100 % суммы первых трех статей затрат теплоты, при отсутствии вытяжной трубы - от 10 до 20%.

Расход пара определяется по формуле

$$D = Q_{\text{общ}} / (i_n - i_k), \quad (132)$$

где $Q_{\text{общ}}$ - общий расход теплоты, кДж; i_n, i_k - удельная энтальпия соответственно пара и конденсата, кДж/кг.

При этом численное значение энтальпии конденсата принимается равным температуре воды или пара в бланширователе, умноженной на 4,1868.

При выполнении ориентировочных расчетов расход пара (в кг/с):

$$\text{при бланшировании водой} \\ D = (4,25 \dots 4,5) (\Pi \Delta t_n + W'' \tau) 10^{-4}, \quad (133)$$

при бланшировании паром

$$D = (0,0006 \dots 0,0009) \text{ Пс} \Delta t_n. \quad (134)$$

Расход пара (в кг/ч) соответственно равен:

$$D = (4,25 \dots 4,5) (G_c \Delta t_n + W \tau) 10^{-4}$$

и

$$D = (0,0006 \dots 0,0009) G_c \Delta t_n \quad (135)$$

здесь Π - производительность, кг/с; G - производительность, кг/ч; c - удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг К); Δt_n - разность конечной и начальной температуры продукта, °С; τ - удельная теплота парообразования (в кДж/кг) при температуре бланширования; W и W'' - соответственно часовое и секундное количество испаряющейся воды, кг/ч и кг/с.

Величины W и W'' определяются по формулам:

$$W = W_{\text{уд}} A \quad (136)$$

и

$$W'' = W''_{\text{уд}} A, \quad (137)$$

где A - площадь поверхности испарения, м²; $W_{\text{уд}}$ и $W''_{\text{уд}}$ - соответственно удельное количество испаряющейся влаги, кг/(м² ч) и кг/(м² с), которое рекомендуется находить по графику (рис. 2).

Расход охлаждающей воды (в кг/с)

$$W_{\text{охл}} = \text{Пс} \Delta t_n / (4,19 \Delta t_1), \quad (138)$$

где Δt_n - разность температур продукта до и после охлаждения, °С; Δt_1 - разность конечной и начальной температуры охлаждающей воды, °С.

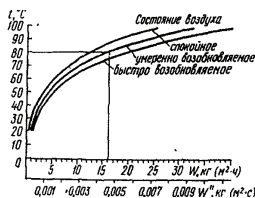


Рис. 2. График для определения количества испаряющейся влаги.

$W_{\text{охла}} = 2...4$ кг/кг продукта.

Производительность шнекового разваривателя (в кг/с) находят по формуле винтового конвейера (120), а расход греющего пара - по формуле (132). При этом $Q_{\text{общ}}$ складывается из следующих статей расходов теплоты: Q_1 - на нагревание продукта; Q_2 - на нагревание аппарата (при периодической работе); Q_3 - теплопотери от стенок аппарата; Q_4 - теплопотери из-за утечки пара через неплотности (Q_4 принимают при расчете шнекового разваривателя в размере от 5 до 10 %, при расчете ленточного разваривателя с вытяжной трубой - от 50 до 100, без вытяжной трубы - от 10 до 20%, в закрытом разваривателе периодического действия - до 2% суммы остальных затрат теплоты). Энтальпию конденсата считают численно равной температуре разваривания, умноженной на 4,1868 ($i_k = 375...420$ кДж/кг).

При ориентировочных расчетах шнековых разваривателей расход пара (в кг/с)

$$D = (0,035...0,04) \Pi c, \quad (139)$$

где Π - производительность разваривателя, кг/с; c - удельная теплоемкость продукта, кДж/ (кг К).

Длина корпуса шнекового разваривателя (в м)

$$L = 0,015 S n t \quad (140)$$

где S - шаг винта, м.

$$S = (0,4...0,6) D, \quad (141)$$

здесь D - диаметр винта ($D = 0,4...0,5$ м); n - частота вращения винта, мин⁻¹.

$$n = \Pi / (0,013 D^2 S \rho \phi), \quad (142)$$

ρ - насыпная плотность продукта, кг/м³; ϕ - коэффициент заполнения корпуса аппарата ($\phi = 0,4...0,8$); t - продолжительность разваривания (обычно $t = 240...600$ с).

Если расчетная длина больше 3...3,5 м, аппарат делают двухкорпусным.

Мощность привода ленточного разваривателя определяют методом обхода по контуру.

Для расчета мощности привода шнекового разваривателя применима формула

$$N = [\Pi(L\omega + H)K] / 102 \eta \quad (143)$$

где Π - производительность конвейера, кг/с; L - длина конвейера, м; ω - коэффициент сопротивления движения, равный 1,9...6,3 (меньшие значения принимаются для легких небразивных грузов); H - высота подъема материала, м; K - коэффициент запаса мощности ($K = 1,2...1,3$); η - КПД привода.

Пример 5. Рассчитать ковшовый бланширователь для бланширования в воде в течение 3 мин 500 кг/ч яблок. Температура воды в ванне 92 °С, начальная температура яблок 20 °С. Масса 1 м длины цепей с ковшами 10,5 кг. Длина зеркала воды в ванне 4 м, ширина 0,9 м. Скорость движения воздуха 0,25 м/с.

По формулам (125)...(130) находим затраты теплоты:

на нагревание продукта

$$Q_1 = (500/3600) * 3,77 * (90 - 20) = 36,65 \text{ кДж/с};$$

на испарение влаги.

$$Q_2 = 3,6 * 0,38 * 10^{17} * 2277 * (75607 - 0,7 * 2337) = 23,04 \text{ кДж/с};$$

на нагревание доливаемой воды

$$Q_3 = W_{\text{св}} \Delta t_{\text{в}} = (Q_2 / r) c_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}} = (23,04/2277) 4,19 (92 - 17) = 3,18 \text{ кДж/с};$$

на нагревание цепей с ковшами

$$Q_4 = m v C_k \Delta t_k = 10,5 (4/180) 0,48 (92 - 20) = 8,06 \text{ кДж/с};$$

на компенсацию теплопотерь

$$Q_5 = (0,02...0,03) (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) = 1,42...2,13 \text{ кДж/с}.$$

Принимаем $Q_5 = 2,07 \text{ кДж/с}$. Тогда $Q_{\text{общ}} = 73 \text{ кДж/с}$, а расход греющего пара давлением 0,3 МПа.

$$D = Q_{\text{общ}} / (i - i_k) = 73 / (2725,5 - 92 \cdot 4,1868) = 0,0312 \text{ кг/с} = 112,3 \text{ кг/ч}.$$

Расход охлаждающей воды

$$W = \Pi c \Delta t / (4,19 \Delta t_1) = 0,1389 \cdot 3,77 \cdot (90 - 30) / [4,19 (20 - 17)] = 2,5 \text{ кг/кг продукта}.$$

Пример 6. Рассчитать шнековый развариватель производительностью 2000 кг/ч.

Продолжительность разваривания 500 с, давление греющего пара 0,4 МПа.

Производительность аппарата

$$\Pi = 2000 / 3600 = 0,556 \text{ кг/с}.$$

Принимаем диаметр винта $D = 0,5 \text{ м}$.

Шаг винта $S = (0,4...0,6)D = 0,2...0,3 \text{ м}$. Принимаем $S = 0,275 \text{ м}$. При насыпной

плотности яблок 600 кг/м³ и коэффициенте заполнения аппарата 0,7 необходимая частота вращения вала

$$n = \Pi / (0,013D^2 S \rho_f) = 0,556 / (0,013 \cdot 0,5^2 \cdot 0,275 \cdot 600 \cdot 0,7) = 1,48 \text{ мин}^{-1}$$

Длина аппарата

$$L = 015 S n \tau = 0,015 \cdot 0,275 \cdot 1,48 \cdot 500 = 3,05 \text{ м}$$
. Принимаем $L = 3,25 \text{ м}$.

Расчетная мощность привода при $H=0$

$$N = \Pi(L\omega + H)K/102\eta = 0,556 \cdot 3,25 \cdot 6 \cdot 1,3/102 \cdot 0,4 = 0,345 \text{ кВт}.$$

Расход греющего пара

$$D = (0,035...0,04)\Pi c = (0,035...0,04) \cdot 0,556 \cdot 3,8 = 0,074...0,085 \text{ кг/с}.$$

Принимаем $D = 0,08 \text{ кг/с} = 288 \text{ кг/ч}$.

Задача 21. Заданная производительность ковшового бланширователя 0,8 кг/с. Какова необходимая скорость движения цепей с ковшами при длине ванны 3,6 м, если по длине ванны размещается 18 ковшей, каждая из которых вмещает 4,2 кг сырья?

Задача 22. Продолжительность бланширования сырья в ковшовом бланширователе составляет 4 мин. Длина аппарата 4,35 м. При какой вместимости и шаге ковшей производительность бланширователя равна 5 т/ч?

Задача 23. Подберите величину диаметра, шага и частоты вращения винта шнекового разваривателя, при которых обеспечивается переработка 10 т яблок в час. Рассчитайте длину корпуса разваривателя.

Задача 24. Выполните тепловой расчет ленточного бланширователя производительностью 760 кг/ч плодов сладкого перца. Длина ванны с водой 6 м, ширина 1 м. Давление греющего пара 0,4 МПа. Скорость движения воздуха над водой в ванне 0,3 м/с. Масса 1 м длины конвейера 16,1 кг. Остальные исходные данные примите самостоятельно.

Задача 25. Рассчитайте мощность привода ковшового бланширователя производительностью 2 кг/с. Длина конвейера аппарата 8 м. Вместимость ковшей 3,5 кг, шаг ковшей 0,18 м. Масса 1 м длины конвейера (без сырья) 15,1 кг. Усилие натяжения цепи в исходной точке 4 кН.

Задача 26. Чему равна мощность привода барабанного бланширователя при массе барабана 690 кг, массе продукта в нем 275 кг, радиусе барабана 0,4 м и частоте вращения 3,68 мин⁻¹?

Задача 27. Фруктовое сырье плотностью 1020 кг/м³ в течение 10 мин обрабатывается острым паром в шнековом шпарителе, у которого диаметр шнека 250 мм, длина 2500 мм, шаг 160 мм. Вычислите производительность шпарителя при коэффициенте заполнения корпуса 0,3.

Задача 28. Производительность двухкорпусного шнекового шпарителя 0,278 кг/с. Фруктовое сырье плотностью 1010 кг/м³ проходит вдоль корпуса шпарителя за 900 с. Рассчитайте диаметр шнека шпарителя, если шаг шнека 0,27 м, его рабочая длина 1,15 м, коэффициент заполнения 0,45.

Задача 29. Фруктовое пюре плотностью 1028 кг/м³ проходит вдоль двухкорпусного шпарителя за 720 с. Определите расчетную мощность на валу шнека верхнего корпуса, если диаметр шнека 0,3 м; шаг шнека 0,15 м; частота вращения вала шнека 2 об/мин; коэффициент заполнения 0,5; коэффициент, учитывающий потери на трение, 1,2; коэффициент сопротивления при движении продукта 3.

Задача 30. Механик цеха установил на привод шнекового шпарителя без расчета электродвигатель мощностью 0,75 кВт. Определите, достаточна ли эта мощность для нормальной работы шпарителя, имеющего паспортную производительность 0,58 кг/с, если потери на трение в подшипниковых опорах 30%, длина пути перемещения продукта в шпарителе 6 м, коэффициент сопротивления движению продукта 2,75, общий КПД привода 0,45.

Оборудование для охлаждения маргариновой эмульсии

Площадь поверхности охлаждения всех цилиндров переохладителя (вытеснительного переохладителя, вататора) (в м²)

$$A_{\text{охл}} = 3,14 d_{\text{вн}} l z, \quad (144)$$

где $d_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр рабочего цилиндра, м; l - длина рабочего цилиндра, м; z - число рабочих цилиндров.

Вместимость рабочих цилиндров (в м³)

$$V_{\text{рц}} = 0,785 z l (d_{\text{вн}}^2 - d_{\text{н.в.}}^2), \quad (145)$$

где $d_{\text{н.в.}}$ - наружный диаметр вала, м.

Продолжительность пребывания эмульсии в переохладителе (в с)

$$\tau = 3430 V_{\text{рц}} / G, \quad (146)$$

где ρ - плотность эмульсии, кг/м³; G - производительность линии, кг/ч.

Расход холода на охлаждение эмульсии (в кДж/ч)

$$Q = 1,05 G (c \Delta t + q), \quad (147)$$

где c - удельная теплоемкость эмульсии, равная 1,63...2,05 кДж/(кг К), Δt - разность температур эмульсии на выходе из гомогенизатора (34...40 °С) и на выходе из переохладителя (12...19 °С); таким образом $\Delta t = 15...28$ °С; q - удельная теплота кристаллизации маргарина, кДж/кг.

$$q = 0,001 (x_1 q_1 m_1 + q_2 m_2), \quad (148)$$

здесь x_1 - массовая доля саломаса, перешедшего в твердое состояние, доли единицы; q_1 - удельная теплота кристаллизации пищевого саломаса (75,36 кДж/кг); q_2 - удельная теплота кристаллизации кокосового масла, равная 125,6 кДж/кг; m_1 - содержание саломаса в маргарине, кг/т; m_2 - содержание кокосового масла в маргарине, кг/т.

Как показывает практика, фактический расход холода несколько выше. Его можно определять (в кДж) по удельным затратам на 1 т маргарина:

$$Q = (102,2...138) G, \quad (149)$$

где G - производительность линии, кг/ч.

Необходимая площадь поверхности охлаждения цилиндров переохладителям (в м²)

$$A = 1,1 Q / (3600 k \Delta t_{\text{ср}}), \quad (150)$$

где k - коэффициент теплопередачи от маргариновой эмульсии к испаряющемуся аммиаку, равный 1,4...1,63 кВт/(м² К); $\Delta t_{\text{ср}}$ - средняя разность температур маргариновой эмульсии и испаряющегося аммиака, равная 42,5...46,5 °С.

Следовательно,

$$A = (4...5,1) Q * 10^{-6}. \quad (151)$$

При расчете обязательно соблюдается условие

$$A_{\text{охл}} > A. \quad (152)$$

Площадь поверхности охлаждения кристаллизатора (в м²)

$$A_k = 3,14 d_{\text{вн}} l \quad (153)$$

(см. пояснения к формуле (144)).

Рабочая вместимость кристаллизатора (в м³)

$$V_k = 0,785 d_{\text{вн}}^2 l \quad (154)$$

Продолжительность пребывания маргариновой эмульсии в кристаллизаторе (в ч)

$$\tau = 0,952 V_k \rho / G, \quad (155)$$

где ρ - плотность твердого маргарина, кг/м³; n - число ручьев на одну линию (обычно два кристаллизатора приходится на один переохладитель).

При ориентировочных расчетах можно принимать

$$T = (1730 \dots 1750) V_k / G. \quad (156)$$

Пример 7. Рассчитать вататор (переохладитель) производительностью 2640 кг/ч маргариновой эмульсии, в которой на 1 т маргарина приходится 680 г пищевого саломаса и 70 кг кокосового масла. Температура эмульсии за гомогенизатором 36 °С, на выходе из переохладителя 18 °С. При температуре 18 °С в твердое состояние переходит 71 % саломаса и все кокосовое масло. Температура испарения аммиака - 17 °С. Внутренний диаметр рабочего цилиндра 101,6 мм, длина цилиндра 1130 мм. Рабочих цилиндров три.

Площадь поверхности охлаждения всех цилиндров (фактическая) [см. формулу (144)]

$$A_{\text{охл}} = 3,14 * 0,1016 * 1,13 * 3 = 1,0815 \text{ м}^2.$$

Удельная теплота кристаллизации маргарина [см. формулу (148)]

$$q = 0,001 * (0,71 * 75,36 * 680 + 125,6 * 70) = 45,17 \text{ кДж/кг}.$$

Принимаем удельную теплоемкость эмульсии $c = 1,8 \text{ кДж/(кг К)}$.

Расход холода на охлаждение эмульсии

$$Q = 1,05 * 2640 [1,8 * (36 - 18) + 45,17] = 215024 \text{ кДж/ч}.$$

Необходимая площадь поверхности охлаждения цилиндров переохладителя [по формуле (151)]

$$A = 5 * 215024 * 10^{-6} = 1,075 \text{ м}^2.$$

При этом $A_{\text{охл}} > A$.

Пример 8. Внутренний диаметр рабочей камеры кристаллизатора равен 174 мм, длина камеры 2,12 м. Определить продолжительность пребывания маргариновой эмульсии в кристаллизаторе при производительности линии 2800 кг/ч.

Рабочая вместимость кристаллизатора

$$V_k = 0,785 * 0,174^2 * 2,12 = 0,05 \text{ м}^3.$$

Продолжительность пребывания эмульсии в кристаллизаторе (при двух ручьях на линию)

$$\tau = (1730 \dots 1750) * 0,05 / 2800 = 0,031 \text{ ч} = 1 \text{ мин } 52 \text{ с}.$$

Задача 31. В каждой тонне маргарина содержится 472 кг саломаса и 90 кг кокосового масла. Сколько холода расходуется при этом на охлаждение 2,7 т/ч маргариновой эмульсии, если ее температура за гомогенизатором равна 39 °С, а на выходе из переохладителя 13 °С? Также определите необходимую площадь поверхности охлаждения цилиндров переохладителя.

Схалихов А. А., Коблева М. М.

Методическое пособие для выполнения контрольных работ
по дисциплине «Технологическое оборудование по переработке полуфабрикатов»
для студентов очной и заочной форм обучения
специальности 260601 «Машины и аппараты пищевых производств»,
направлению подготовки 151000.62 Технологические машины и оборудование
профиль подготовки «Машины и аппараты пищевых производств»

Подписано в печать 05.05.14.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Заказ № 1665.43. Тираж 100.

Отпечатано в типографии ИП Пермяков С.А.

426034, г. Ижевск, ул. Коммунаров, 244.