

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА МАШИНОВЕДЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ на тему «Роторные машины»

по дисциплине

**«Расчет и конструирование машин
и аппаратов пищевых производств»**

для студентов специальности

1 - 36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств»

УДК 664.002

Методические указания используются студентами специальности 1 - 36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств» для выполнения практических работ по дисциплине «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств».

Приведены основы процессов центрифугирования и сепарирования, конструкции и принцип работы центрифуг и сепараторов. Рассмотрены методики определения конструктивных и технологических параметров данных машин.

В методических указаниях предусмотрено индивидуальное задание студентам и рекомендуемая литература.

Составители: И. А. Мирошниченко, старший преподаватель,
О. В. Мартиновская, старший преподаватель

Рецензент: В. А. Адамович, главный инженер ОАО «Брестхлебопродукт»

Учреждение образования
© «Брестский государственный технический университет», 2017

Репозиторий БрГТУ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1 РАСЧЕТ ЦЕНТРИФУГИ

Цель работы:

- изучение теоретических основ процесса центрифугирования, его основных стадий и классификации центрифуг;
- изучение устройства и принципа работы подвесной центрифуги циклического действия;
- выполнение расчета центрифуги.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Из роторных машин наибольшее распространение в пищевой промышленности получили центрифуги и сепараторы. Их главное назначение – разделение неоднородных пищевых многофазных систем на фракции, различающиеся по плотности, в поле действия центробежных сил.

Рабочим органом центрифуг и сепараторов является ротор, в котором осуществляется разделение продуктов с помощью воздействия на них центробежных сил.

Центрифуги используют в промышленности:

- сахарной, для разделения утфеля на оттеки и кристаллы сахара;
- крахмало-паточной, для отделения крахмала от соковой воды;
- мясной, для разделения жиромассы на шквару и жироводную эмульсию и т. д.

Различают отстойное и фильтрационное центрифугирование.

Отстойное центрифугирование используется для разделения плохо фильтрующихся суспензий с малой концентрацией, а также для классификации суспензий по крупности и удельному весу частиц.

Фильтрационное центрифугирование применяется для разделения суспензий, имеющих дисперсионную фазу кристаллической или зернистой структуры, а также для обезвоживания влажных материалов, поры которых целиком или частично заполнены жидкостью.

Общая классификация центрифуг может быть дана в зависимости от основных характеристик машин:

- *по фактору разделения Φ_p* (отношение центробежной силы к силе тяжести) различают нормальные, у которых $\Phi_p < 3000$, и сверхцентрифуги, у которых $\Phi_p \geq 3000$;
- *по осуществлению рабочего процесса* центрифуги разделяются на непрерывно и периодически действующие;
- *по способу удаления осадка* из ротора различают центрифуги с ручной, гравитационной, ножевой, пульсирующей, шнековой и инерционной выгрузкой;
- *по расположению вала*, на котором закрепляется ротор, различают центрифуги с вертикальным и горизонтальным валом. Центрифуги с вертикальным валом, в зависимости от расположения опоры вала, могут быть подвесные, когда опора расположена выше центра тяжести ротора, а ротор укреплен внизу вала, и центрифуги, ротор которых расположен на верхнем конце вала.

В сахарной промышленности применяют нормальные фильтрующие центрифуги. Процесс фуговки осуществляется за счет действия центробежной силы на утфель, загруженный в цилиндрический перфорированный ротор центрифуги, вращающиеся с окружной скоростью 50...90м/с.

Утфель представляет собой двухфазную вязкую массу, содержащую 45...60% по объему сахара и межкристальный раствор. Для лучшего отделения межкристального оттока и задержания кристаллов сахара внутри ротора центрифуги устанавливаются подкладочные и фильтрующие сита.

Процесс фуговки утфеля делится на три периода: образование осадка, уплотнение и механическая сушка осадка.

Первый период. Обычная фильтрация, причем давление обуславливается гидравлическим напором под действием центробежных сил.

Второй период. Центрифугируемая масса представляет собой двухфазную систему, причем вначале твердые частицы имеют минимум точек касания. В дальнейшем происходит сближение частиц с уменьшением объема пор массы и выжимание жидкой фазы из этих пор. На межкристальную жидкость оказывают давление твердые частицы и центробежные силы. С течением процесса сжатия осадка число точек касания между частицами увеличивается. Одновременно давление на жидкость, вызванное действием поля центробежных сил, падает вследствие уменьшения гидравлического напора по мере удаления межкристального раствора. Когда уровень жидкости опускается до дренирующего слоя, начинается третий период.

Третий период. На поверхности кристаллов и в местах их соприкосновения остается межкристальная патока, удерживаемая капиллярными и молекулярными силами. Этот период характеризуется стеканием патоки по незаполненным порам с поверхности кристаллов до тех пор, пока силы молекулярного сцепления оставшейся пленки патоки на кристаллах уравниваются центробежными силами. Чтобы удалить оставшийся на поверхности кристаллов раствор, их промывают водой и сушат паром (пробелка).

Подвесная центрифуга циклического действия (рисунок 1) состоит из ротора 12, подвешенного на валу 6 в верхней опоре, пятискоростного асинхронного электродвигателя 3, механизма среза 2 и вспомогательных устройств.

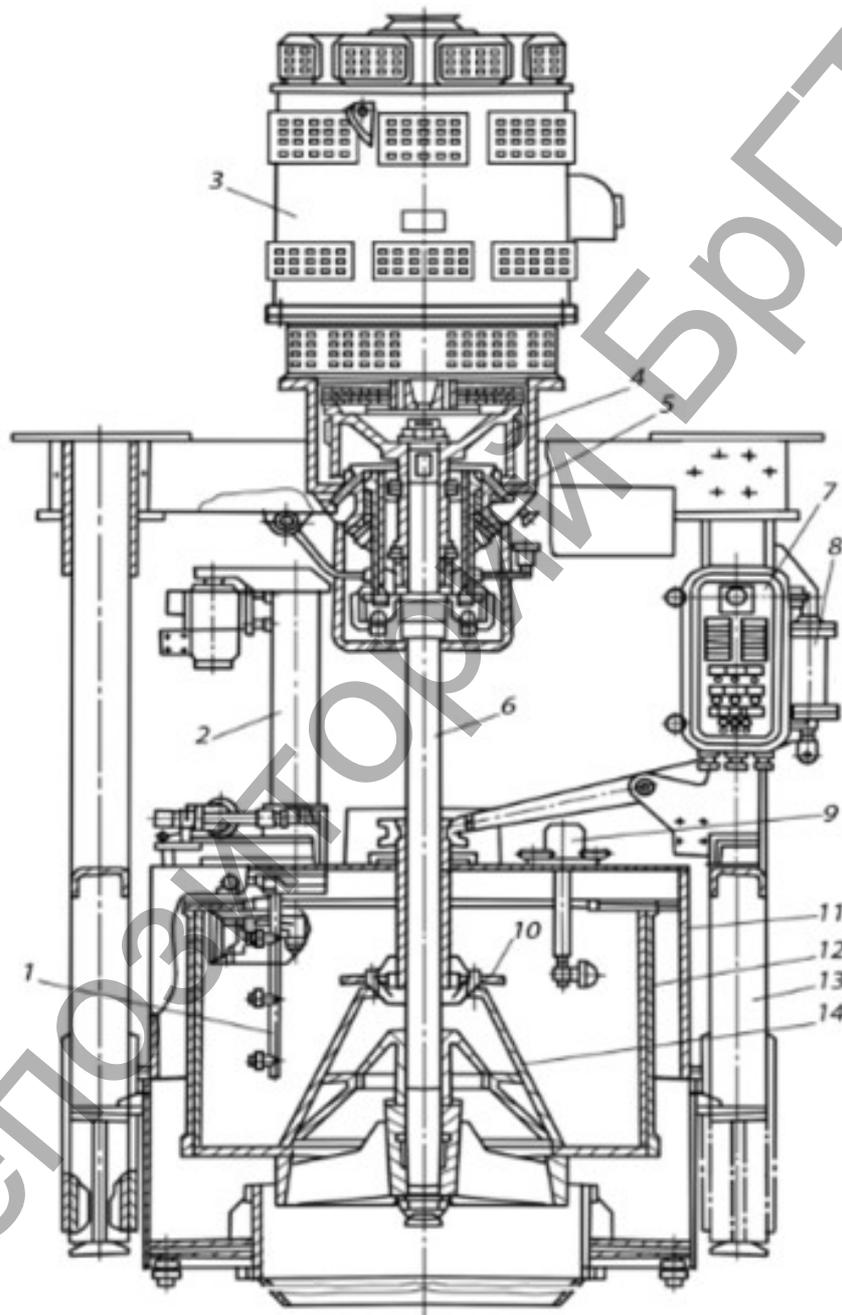
Работает центрифуга следующим образом. При достижении частоты вращения ротора 23с^{-1} открывается шиберная заслонка утфелераспределителя, и утфель по лотку поступает в ротор центрифуги. После загрузки ротора до заданного объема датчик 9 загрузки утфеля дает команду на закрытие шиберной заслонки. Затем электродвигатель набирает максимальную частоту вращения 150с^{-1} , при которой происходит фуговка утфеля, регулируемая при помощи реле времени.

По окончании фуговки включается электромагнитный клапан, и вода поступает в устройство 1 для промывки сахара. Одновременно сегрегатор переключается на отвод белой патоки.

После промывки и пропарки сахара происходит переключение электродвигателя на меньшую скорость, и центрифуга начинает тормозиться. При частоте вращения 5с^{-1} включается механический тормоз 4, и электродвигатель выключа-

ется, а затем переключается на обратное вращение ротора 12. При достижении ротором частоты вращения $7 \dots 10 \text{ с}^{-1}$ поднимается запорный конус, и к слою сахара при помощи пневмоцилиндра 8 подводится нож. По вертикали нож перемещается при помощи электродвигателя.

По окончании выгрузки механизм среза 2 занимает первоначальное положение, запорный конус 14 опускается, сита промываются водой, и начинается следующий цикл работы.



- 1 – устройство для промывки; 2 – механизм среза; 3 – электродвигатель;
4 – тормоз; 5 – подвесная головка; 6 – вал; 7 – пульт управления;
8 – пневмоцилиндр; 9 – датчик загрузки; 10 – распределительный диск;
11 – кожух; 12 – ротор; 13 – станина; 14 – запорный конус

Рисунок 1 – Подвесная центрифуга

Техническая характеристика автоматической центрифуги

ФПН-1251Л-02

Максимальная загрузка, кг.....	660
Внутренний диаметр ротора, мм	1250
Внутренняя высота ротора, мм.....	800
Максимальная вместимость ротора, м ³	445·10 ⁻³
Рабочая частота вращения, с ⁻¹	105; 157
Минимальный цикл работы, мин.....	3
Наибольший фактор разделения.....	1560
Габаритные размеры, мм.....	2250× × 2060× × 4800
Масса без электродвигателя, кг.....	3650

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Исходные данные (таблица 1):

- внутренний диаметр ротора D , м;
- высота ротора центрифуги H , м;
- частота вращения n , мин.⁻¹;
- масса утфеля G_y , кг;
- состав утфеля:
- массовая доля сухих веществ в утфеле B_y , %;
- доброкачественность $Дб_y$;
- плотность утфеля $\rho_y = 1450$ кг/м³;
- характеристика зеленой патоки:
- доброкачественность $Дб_n$;
- вязкость $\mu_n = 0,1893$ Па·с;
- плотность зеленой патоки $\rho_n = 1372,5$ кг/м³;
- характеристика белой патоки:
- массовая доля сухих веществ в белой патоке B_n , %;
- доброкачественность белой патоки $Дб_n$;
- кинематическая вязкость белой патоки $\nu_{бн} = 1,47 \cdot 10^{-4}$ м²/с;
- плотность белой патоки $\rho_{бн} = 1392$ кг/м³;
- температура утфеля и патоки $t = 60^\circ\text{C}$;
- эффективный диаметр кристаллов сахара $d = 4 \cdot 10^{-4}$ м;
- диаметр загрузочного отверстия $d_3 = 0,8$ м.

Порядок выполнения расчета

Начальная толщина слоя утфеля в центрифуге, м:

$$S_0 = R - \sqrt{R^2 - \frac{G_y}{\pi \cdot \rho_y \cdot H}}, \quad (1)$$

где $R = D/2$ – радиус ротора центрифуги, м.

Объемная доля патоки в утфеле, %:

$$\alpha = \left[(1 + c_1)(100 - B_y) + B_y(1 - 0,01 \text{ Дб}_y) \right] \cdot \frac{\rho_y}{\rho_n}, \quad (2)$$

где c_1 – коэффициент растворимости сахара в патоке при данной ее доброкачественности и температуре:

$$c_1 = \frac{325 + 0,04 \cdot t^2}{\text{Дб}_y + 63,5}. \quad (3)$$

Количество патоки, вытекающей в период уплотнения утфеля, %:

$$x = \frac{\alpha - 25,6}{0,744}. \quad (4)$$

Содержание сахара, остающегося в центрифуге, на единицу объема патоки, вытекающей в период уплотнения:

$$V_c = \frac{100 - x}{x}. \quad (5)$$

Масса уплотненного утфеля в центрифуге, кг:

$$G_1 = G_y \left(1 - \frac{x}{100} \right). \quad (6)$$

Толщина слоя уплотненного утфеля, м:

$$S_1 = R - \sqrt{R^2 - \frac{G_1}{\pi \cdot \rho_y \cdot H}}. \quad (7)$$

Кинематическая вязкость зеленой патоки, м²/с:

$$\nu_n = \frac{\mu_n}{\rho_n}. \quad (8)$$

Коэффициент фильтрации зеленой патоки через сахар, м·с:

$$k_n = \frac{0,12 \cdot d^2}{\nu_n}. \quad (9)$$

Продолжительность отделения зеленой патоки, с:

$$\tau_1 = \frac{S_1}{k_n \cdot \alpha_1 \cdot \omega^2} \left[\frac{S_1}{(S_0 + S_1) \cdot V_c} + \frac{m \cdot (D - S_1)}{D} \right], \quad (10)$$

где α_l – коэффициент, зависящий от диаметра центрифуги: для $D=1,2\text{м}$ $\alpha_l=0,054$, для $D=1,0\text{м}$ $\alpha_l=0,046$; $m = 0,256$ – коэффициент пористости утфеля; $\omega = \pi \cdot n / 30$ – частота вращения ротора, с^{-1} .

Расчетная кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$:

$$v_p = \frac{(v_e + 2 \cdot v_{bn})}{3}, \quad (11)$$

где $v_e = 4,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ – кинематическая вязкость воды; v_{bn} – кинематическая вязкость белой патоки.

Коэффициент фильтрации белой патоки через сахар, $\text{м} \cdot \text{с}$:

$$k_b = \frac{S_1 \cdot d^2}{v_p}. \quad (12)$$

Продолжительность пробелки, с:

$$\tau_2 = \frac{m \cdot (D \cdot S_1 - S_1^2) (1 + 0,5 \cdot \theta)}{k_b \cdot D \cdot \alpha \cdot \omega^2}, \quad (13)$$

где коэффициент θ :

$$\theta = \frac{10^5}{(100 - B_n) \cdot \rho_{bn}} - 1. \quad (14)$$

Минимальный расход пара на пропарку сахара при нагреве от $t_1=60^\circ\text{C}$ до $t_2=90^\circ\text{C}$ за один цикл, м^3 :

$$q_0 = \pi \cdot (D - S_1) \cdot H \cdot S_1 \left[m + \frac{\rho_c \cdot c_c \cdot (t_2 - t_1)}{(i_1 - i_2)} \right], \quad (15)$$

где $\rho_c = 1115 \text{ кг}/\text{м}^3$ – плотность сахара; $c_c = 1,48 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – удельная теплоемкость сахара; $i_1 = 2760 \text{ кДж}/\text{кг}$ – удельная энтальпия пара, подаваемого в центрифугу; $i_2 = 2580 \text{ кДж}/\text{кг}$ – энтальпия пара, выходящего из центрифуги.

Коэффициент фильтрации пара, $\text{м} \cdot \text{с}$:

$$k_{\text{пар}} = \frac{S_1 \cdot d^2}{v_{\text{пар}}}, \quad (16)$$

где $\nu_{\text{пар}} = 0,216 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ – кинематическая вязкость пара.

Расход пара через слой сахара, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q_{\text{пар}} = \frac{k_{\text{пар}} \cdot \omega^2 \cdot D^2}{4 \cdot g \cdot S_1} \cdot (D - S_1) \cdot H \cdot \pi. \quad (17)$$

Продолжительность пропарки, с:

$$\tau_3 = \frac{q_0}{Q_{\text{пар}}}. \quad (18)$$

Полный объем, возможный к загрузке утфелем, м^3 :

$$V = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_3^2) \cdot H}{4}, \quad (19)$$

где $d_3 = 0,8 \text{ м}$ – диаметр загрузочного отверстия.

Расчетная производительность центрифуги, $\text{кг}/\text{с}$:

$$П = \frac{1440 \cdot V \cdot \phi \cdot \varepsilon \cdot \rho_y}{(1 - x) \cdot (\tau_1 + \tau_2)}, \quad (20)$$

где ϕ – коэффициент заполнения центрифуги:

$$\phi = \frac{V_0}{V}, \quad (21)$$

здесь $V_0 = \pi \cdot D^2 \cdot H / 4$ – общий объем ротора центрифуги, м^3 ; $\varepsilon = 0,89$ – отношение фактического числа оборотов центрифуги к номинальному.

Мощность, затрачиваемая для разгона центрифуги, кВт:

$$N_u = \frac{G_u \cdot R^2 \cdot \omega^2}{2000 \cdot \tau_u}, \quad (22)$$

где $G_u = 380 \text{ кг}$ – масса ротора центрифуги; R – радиус ротора, м; ω – частота вращения центрифуги с^{-1} ; $\tau_u = 50 \text{ с}$ – продолжительность разгона центрифуги.

Мощность, затрачиваемая для разгона утфельного кольца в центрифуге, кВт:

$$N_y = \frac{G_y \cdot (R^2 + r^2) \cdot \omega^2}{4000 \cdot \tau_y \cdot \eta}, \quad (23)$$

где $G_y = V \cdot \rho_y$ – масса утфеля, кг; r – внутренний радиус утфельного кольца, м:

$$r = R - S_0, \quad (24)$$

$\tau_y = 40 \text{ с}$ – продолжительность разгона утфеля; $\eta = 0,8$ – коэффициент, учитывающий гидравлические и прочие сопротивления при перемещении утфеля и пато-

ки в роторе.

Мощность, затрачиваемая на трение центрифуги о воздух, кВт:

$$N_f = 1,36 \cdot \beta \cdot H \cdot D^4 \cdot n^3, \quad (25)$$

где $\beta = 1,32 \cdot 10^{-9}$ – эмпирический коэффициент.

Мощность, затрачиваемая на трение в подшипниках, кВт:

$$N_T = \frac{f' \cdot (G_u - G_y) \cdot g \cdot v}{1000}, \quad (26)$$

где $f' = 0,03$ – коэффициент трения, зависящий от конструкции подшипника; v – окружная скорость на поверхности шейки вала в подшипнике, м/с,

$$v = \frac{\pi \cdot d' \cdot n}{60}, \quad (27)$$

где $d' = 0,1$ м – диаметр шейки вала.

В период разгонки и загрузки центрифуги мощность определяется как сумма мощностей, кВт:

$$N_1 = N_u + N_y + N_f + N_T. \quad (28)$$

Мощность в средний период работы, кВт:

$$N_2 = \frac{1}{4} \cdot N_y + N_f + \frac{2}{3} \cdot N_T. \quad (29)$$

Мощность в конечный период работы, кВт:

$$N_3 = N_f + \frac{3}{5} \cdot N_T. \quad (30)$$

Средняя величина мощности на центрифугу с учетом длительности периодов, кВт:

$$N = 0,23 \cdot N_1 + 0,44 \cdot N_2 + 0,33 \cdot N_3. \quad (31)$$

Порядок оформления отчета

Отчет о практической работе включает в себя:

- тему, цель работы;
- теоретическую часть, в которой приводится классификация центрифуг, теоретические основы процесса фуговки утфеля, краткая характеристика его основных стадий, описание конструкции и принципа действия центрифуги;

– расчетную часть, в которой проводится расчет центрифуги по предлагаемому варианту (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные

Номер варианта	D , м	H , м	n , мин ⁻¹	Характеристика утфеля			B_n , %
				B_y , %	$Дб_y$	G_y , кг	
1	1,20	0,49	950	92,0	92,5	400	77,0
2	1,00	0,48	1000	91,2	92,4	380	77,1
3	0,95	0,75	1100	91,8	92,4	370	77,2
4	1,10	0,48	1050	91,7	92,3	390	77,3
5	0,95	0,47	1000	91,6	92,2	360	77,4
6	1,00	0,48	950	92,0	92,1	370	77,5
7	1,10	0,48	950	92,1	92,5	380	77,5
8	1,20	0,49	950	92,2	92,5	390	77,6
9	1,10	0,48	1000	92,4	92,6	390	77,4
10	1,10	0,47	1000	92,4	92,7	380	77,4
11	0,90	0,46	1000	92,3	92,7	370	77,3
12	0,90	0,47	980	92,3	92,6	360	77,3
13	0,90	0,48	960	92,1	92,6	350	77,2
14	1,00	0,47	950	92,1	92,6	370	77,2
15	1,00	0,48	970	92,0	92,5	380	77,4
16	1,00	0,49	990	92,0	92,4	390	77,1
17	1,10	0,49	1030	89,9	92,5	380	77,1
18	1,10	0,48	1060	89,9	92,4	400	77,0
19	1,10	0,47	1090	89,7	92,3	400	77,0
20	1,20	0,49	1020	89,7	92,2	410	77,0
21	1,20	0,50	1040	89,5	92,3	420	77,1
22	1,20	0,48	1080	89,4	92,2	430	76,9
23	1,00	0,46	1000	89,3	92,1	415	76,8
24	1,00	0,47	980	89,2	92,3	405	76,8
25	1,00	0,48	990	89,6	92,5	395	76,8

Контрольные вопросы

1. В каких отраслях промышленности и с какой целью используются центрифуги?
2. Что называется процессом центрифугирования?
3. Какие виды центрифугирования вы знаете? Охарактеризуйте их.
4. В чем заключается сущность основных стадий процесса фуговки утфеля?
5. Какова классификация центрифуг по основным характеристикам?
6. Каково устройство и принцип действия центрифуги сахарного производства?
7. Что такое фактор разделения?
8. Что такое утфель?
9. Чем отличается зеленая патока от белой?
10. Из каких составляющих складывается мощность привода центрифуги?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2 РАСЧЕТ СЕПАРАТОРА

Цель работы:

- изучение теоретических основ процесса сепарирования, классификации сепараторов;
- изучение конструкции и принципа работы сепаратора-сливкоотделителя;
- выполнение расчета сепаратора.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Сепараторы применяются в промышленности:

- молочной, для разделения цельного молока на сливки и обезжиренное молоко, для очистки и нормализации молока, для разделения сливок обычной жирности (33...40%) на высокожирные сливки (до 80...85%) и пахту и т. д.;
- пивоваренной, для осветления пивного сусла и готового пива;
- консервной, для очистки и осветления фруктовых и других соков и т. д.

Общая классификация сепараторов может быть дана в зависимости от основных характеристик машин:

– *по технологическому назначению* сепараторы делятся на три основных класса:

- 1) сепараторы-разделители для разделения смеси жидкостей, не растворимых одна в другой, и для концентрирования суспензий и эмульсий;
- 2) сепараторы-осветлители для выделения твердых частиц из жидкости;
- 3) комбинированные сепараторы для выполнения двух или более операций переработки жидкости смеси;

– *по конструкции* сепараторы разделяют на тарельчатые и камерные.

Ротор тарельчатых сепараторов укомплектован пакетом конических вставок (тарелок), которые делят поток обрабатываемой жидкости на параллельно тонкие слои.

Ротор камерных сепараторов имеет реберную вставку (при одной камере) или комплект концентричных цилиндрических вставок, разделяющих его объем на кольцевые камеры, по которым обрабатываемая жидкость, протекает последовательно;

– *по способу подвода* исходной гетерогенной системы и отвода продуктов сепарирования различают сепараторы трех типов: открытые, полужакрытые и герметические.

В открытых сепараторах подача в ротор жидкой смеси и отвод полученных жидких фракций осуществляются открытым потоком. Процесс сепарирования не изолирован от доступа воздуха.

В полужакрытых сепараторах жидкость подается в ротор открытым или закрытым потоком, а отвод одной или обеих жидких фракций происходит под давлением по закрытым трубопроводам. Процесс сепарирования не изолирован от доступа воздуха.

В герметических сепараторах подача в ротор исходной жидкости и отвод жидких фракций происходит под давлением по закрытым трубопроводам, гер-

метически соединенным с выпускными патрубками, процесс сепарирования в них изолирован от доступа воздуха;

– *по виду привода* сепараторы подразделяются на три группы: с ручным, комбинированным и электромеханическим приводом;

– *по способу выгрузки осадка* сепараторы разделяются на две основные группы: с непрерывным и пульсирующим отводом осадка.

В сепараторах с непрерывным отводом осадка последний удаляется вместе с частью жидкой фазы через сопла в виде концентрированной фракции.

В сепараторах с пульсирующим отводом осадка последний выбрасывается из барабана при перемещении подвижного элемента, открывающегося разгрузочные щели на периферии барабана. При полной разгрузке периодически прекращается поступление продукта на сепарирование, разгрузочные щели барабана открываются, и все его содержимое, то есть выделенный осадок и жидкая фаза, выбрасывается в приемник.

Основные конструктивные факторы, которые оказывают существенное влияние на эффективность процесса сепарирования: частота вращения барабана, размеры барабана и тарелок, расстояние между тарелками.

Сепаратор-сливкоотделитель (рисунок 1) состоит из станины 17 с приводным механизмом, приемно-отводящего устройства 12, гидроузла, чаши станины с приемником осадка 7 и глушителя, а также из пульта управления.

Молоко подается по трубопроводу и центральной трубке приемно-отводящего устройства во вращающееся сепарирующее устройство 10. В это время поршень сепарирующего устройства закрыт. В полости под поршнем находится вода. При работе сепаратора происходит незначительное её вытекание из сепарирующего устройства и патрубка станины при подпитке. Для герметизации системы поршень поджимается к прокладке силой гидростатического давления.

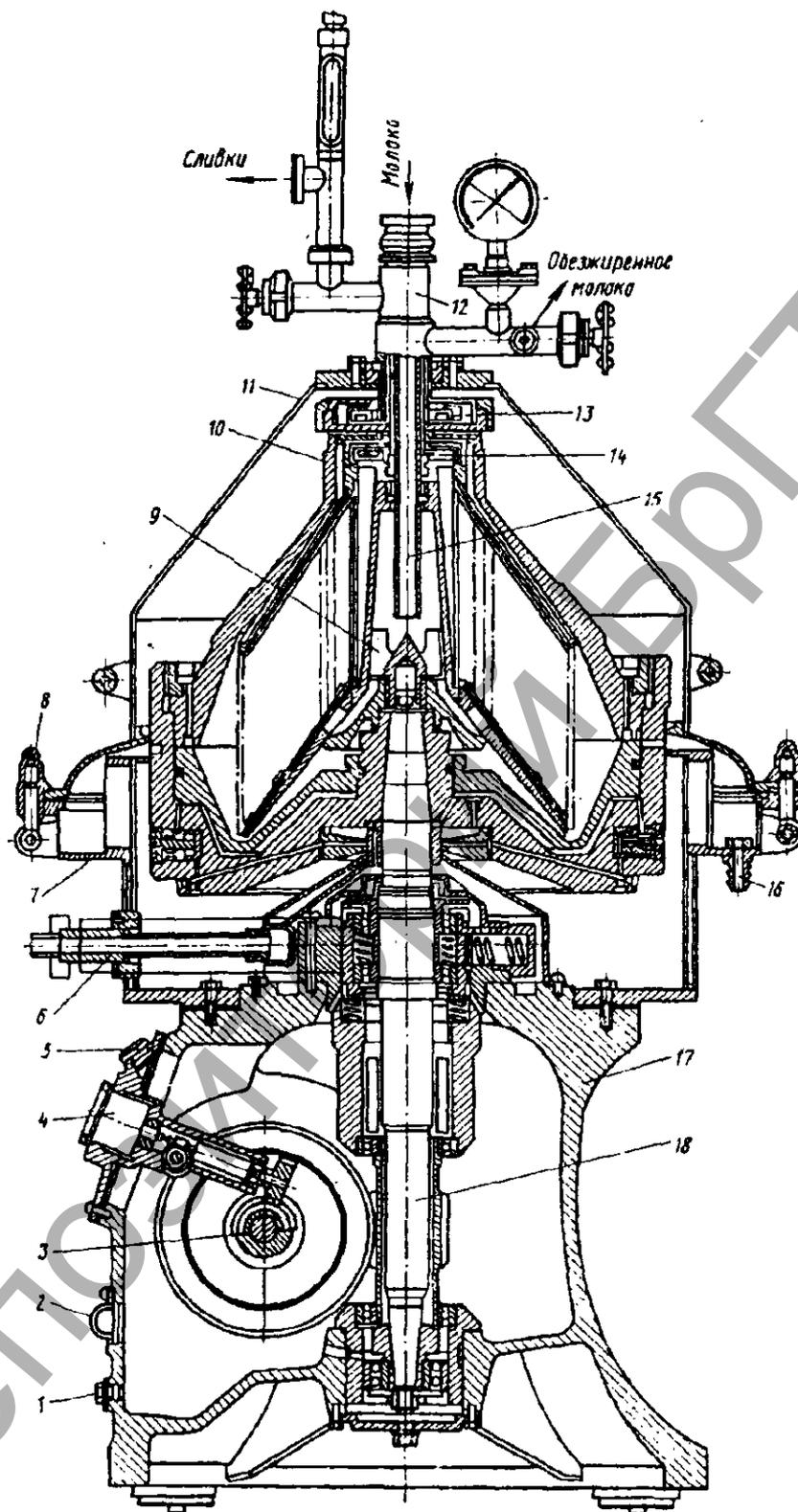
Молоко подается в сепарирующее устройство, проходит через отверстия в тарелкодержателе и вертикальные каналы пакета, распределяется в межтарелочных пространствах, разделяясь на сливки, оттесняемые к оси вращения, и обезжиренное молоко, оттесняемое к периферии сепарирующего устройства. Сливки и обезжиренное молоко выводятся через камеры напорных дисков.

Твердые частицы и тяжелые примеси, выделяющиеся из молока, поступают в периферийный объем сепарирующего устройства, где происходит их накопление и уплотнение. Во избежание потерь молока применяют только частичную выгрузку осадка при открытии каналов.

Разгрузку сепараторов осуществляют в один или два этапа.

При одноэтапной разгрузке осадок выгружается без перекрытия устройства для подачи исходного продукта. Однако во избежание потерь продукта в период раскрытия сепарирующего устройства выгружается не весь осадок, а лишь его часть.

При двухэтапной разгрузке сначала перекрывается устройство для подачи исходного продукта и удаляется жидкость из межтарелочного пространства, а затем уже открываются щели для выгрузки, в результате чего осадок выбрасывается из сепарирующего устройства в приемник под действием центробежной силы.



- 1 – пробка спуска масла; 2 – указатель уровня масла; 3 – горизонтальный вал;
 4 – тахометр; 5 – пробка залива масла; 6 – трубка подвода воды в сепарирующее устройство;
 7 – приемник осадка; 8 – зажим; 9 – гайка; 10 – сепарирующее устройство; 11 – крышка;
 12 – приемно-отводящее устройство; 13, 14 – напорные диски; 15 – центральная трубка;
 16 – штуцер подвода воды; 17 – станина; 18 – вертикальный вал

Рисунок 1 – Сепаратор-сливкоотделитель

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Исходные данные (таблица 1):

ω – угловая скорость вращения барабана, с^{-1} ;

R_6 и R_m – внешний и внутренний радиусы тарелок, м;

R_0 – максимальный диаметр диска, м;

V – объем шламowego пространства, м^3 ;

m_6 – масса барабана, кг;

c – расстояние от верхнего подшипника до центра тяжести, м;

l – расстояние между верхним и нижним подшипником, м;

m_c – масса вращающихся частей с сепарируемой жидкостью, кг.

Порядок выполнения расчета

Производительность сепаратора, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$П = 10^{-6} \cdot \beta \cdot \pi \cdot \omega^2 \cdot z \cdot \text{tg } \alpha \cdot (R_6^3 - R_m^3) \cdot d^2 \left[\frac{\rho - \rho_0}{4 \cdot \mu_{\text{мол}}} \right], \quad (1)$$

где $\beta = 0,2 \dots 0,5$ – поправочный коэффициент, учитывающий разницу между теоретическим и реальным процессом; $z = (130 \dots 150)$ шт. – число тарелок; $\alpha = 45 \dots 60^\circ$ – угол наклона образующей конуса тарелки; d – эквивалентный диаметр частицы легкой фракции (размер жировых шариков), м; $\rho_0 = 960 \dots 1000 \text{ кг/м}^3$, $\rho = 1000 \dots 1030 \text{ кг/м}^3$ – плотность сливок и молока соответственно; $\mu_{\text{мол}} = (0,6 \dots 1,3) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамическая вязкость молока.

Размер жировых шариков, мм:

$$d = \left(\frac{m}{0,4} \right) + 0,05, \quad (2)$$

где m – массовая доля жира в обезжиренном молоке ($m = 0,01\%$).

Давление жидкости, выходящей из сепаратора, Па:

$$P = \left(\frac{\rho_{\text{нах}}}{50000} \right) (R_0^2 - r_k^2), \quad (3)$$

где $\rho_{\text{нах}} = 1030 \text{ кг/м}^3$ – плотность обезжиренного молока (пахты); $r_k = 0,015 \text{ м}$ – внутренний радиус кольца жидкости.

Время непрерывной работы сепаратора между разгрузками, ч:

$$\tau = \frac{0,1 \cdot V}{П \cdot a}, \quad (4)$$

где $a = 0,3\%$ – объемная концентрация взвешенных частиц в сепарируемом продукте.

Критическая частота вращения вала, с^{-1} :

$$\omega_{\text{кр}} = \frac{l}{l - c} \sqrt{\frac{K}{m_6}}, \quad (5)$$

где K – сила, вызывающая прогиб вала на 1 м, Н/м, для сепаратора с жестко за-

цепленным (без амортизатора) верхним радиальным подшипником:

$$K = \frac{3 \cdot E \cdot I}{c^2(c+l)}, \quad (6)$$

где E – модуль упругости материала вала, для сталей $E = 2 \cdot 10^{11}$ Н/м²; I – момент инерции сечения вертикального вала, м⁴:

$$I = 0,05 \cdot d_{\text{в}}^4, \quad (7)$$

где $d_{\text{в}} = 0,04$ м – диаметр вала.

Мощность электродвигателя сепаратора N , работающего в установившемся режиме, кВт:

$$N = 1,2 \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\eta_{\text{пр}}}, \quad (8)$$

где $\eta_{\text{пр}} = 0,92 \dots 0,95$ – КПД привода; N_1 – мощность, затрачиваемая для сообщения выбрасываемой из сепаратора жидкости избыточного давления; N_2 – мощность, необходимая для преодоления сил трения барабана о воздух; N_3 – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в подшипниках, кВт.

$$N_1 = \frac{P \cdot P}{\eta_{\text{н.д}} \cdot 1000}, \quad (9)$$

где P – давление жидкости на выходе, Па; $\eta_{\text{н.д}} = 0,3$ – КПД напорного диска.

$$N_2 = 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot F \cdot v_{\text{б}}^3, \quad (10)$$

где $\rho_{\text{в}} = 1,23$ кг/м³ – плотность воздуха; $v_{\text{б}}$ – окружная скорость барабана, м/с; F – общая площадь поверхности трения барабана, м²:

$$F = \frac{\pi(R_{\text{б}}^2 - R_{\text{м}}^2)}{\cos \alpha} + 0,4 \cdot 10^{-3} R_{\text{б}} \cdot z, \quad (11)$$

$$v_{\text{б}} = \frac{\pi \cdot n \cdot R_{\text{б}}}{30}, \quad (12)$$

$$N_3 = 10^{-3} \cdot \mu \cdot m_{\text{с}} \cdot g \cdot v_{\text{в}}, \quad (13)$$

где μ – коэффициент трения ($\mu = 0,03$ для шарикоподшипников); $v_{\text{в}}$ – линейная скорость вращения вала, м/с:

$$v_{\text{в}} = \frac{\pi \cdot n \cdot d_{\text{в}}}{60}, \quad (14)$$

где $d_{\text{в}}$ – диаметр вала, м.

Порядок оформления отчета

Отчет о практической работе включает в себя:

- тему, цель работы;
- теоретическую часть, в которой излагаются теоретические основы процесса сепарирования, классификация сепараторов, описание конструкции и принципа действия сепаратора – сливкоотделителя;
- расчетную часть, в которой приводится расчет сепаратора по предлагаемому варианту (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные

Номер варианта	ω , c^{-1}	R_{δ} , м	R_m , м	R_{δ} , м	$V \cdot 10^{-3}$, $м^3$	m_b , м	c , м	l , м	m_c , кг
1	500	0,18	0,060	0,075	4,8	81	0,30	0,57	109
2	510	0,18	0,060	0,075	4,9	82	0,30	0,58	108
3	520	0,16	0,060	0,075	5,0	83	0,31	0,59	109
4	530	0,16	0,070	0,075	5,0	84	0,34	0,60	110
5	540	0,17	0,070	0,075	4,9	85	0,32	0,61	111
6	550	0,17	0,070	0,075	4,8	86	0,33	0,61	112
7	560	0,18	0,070	0,075	4,7	87	0,34	0,60	113
8	570	0,17	0,060	0,075	4,8	96	0,31	0,59	114
9	580	0,16	0,065	0,080	4,9	85	0,30	0,58	115
10	590	0,18	0,065	0,080	5,0	84	0,30	0,58	114
11	600	0,18	0,065	0,080	5,1	83	0,32	0,59	114
12	610	0,20	0,065	0,080	5,2	82	0,33	0,60	113
13	620	0,20	0,065	0,080	5,3	83	0,34	0,61	113
14	630	0,20	0,065	0,080	5,2	84	0,34	0,62	112
15	640	0,20	0,065	0,080	5,2	85	0,33	0,61	112
16	650	0,18	0,065	0,080	5,3	86	0,32	0,60	111
17	640	0,19	0,065	0,080	5,3	84	0,31	0,60	111
18	630	0,19	0,075	0,085	5,2	86	0,32	0,60	110
19	620	0,19	0,075	0,085	5,3	87	0,32	0,59	110
20	630	0,17	0,075	0,085	5,4	85	0,33	0,59	109
21	610	0,17	0,075	0,085	5,5	84	0,33	0,59	109
22	610	0,19	0,075	0,085	5,6	83	0,34	0,58	108
23	600	0,19	0,070	0,085	5,4	83	0,34	0,60	108
24	590	0,20	0,070	0,085	5,3	81	0,35	0,61	109
25	580	0,20	0,070	0,085	5,2	83	0,35	0,62	110

Контрольные вопросы

1. В каких отраслях пищевой промышленности используются сепараторы?
2. Какова классификация сепараторов?
3. В чем заключается сущность процесса разделения и осветления?
4. Каковы основные конструктивные факторы, влияющие на эффективность процесса сепарирования?
5. За счет чего осуществляется отвод осадка, получаемого в процессе сепарирования?
6. Каково устройство и принцип работы сепаратора?
7. Что такое критическая частота вращения вертикального вала сепаратора?
8. Из каких составляющих складывается мощность привода сепаратора?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Машины и аппараты пищевых производств: в 2-х кн. / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков [и др.]; под ред. В. А. Панфилова. – М.: Высшая школа, 2001.
2. Мясожировое производство: убой животных, обработка туш и побочного сырья / Под ред. А. Б. Лисицына. – М.: ВНИИ мясной промышленности, 2007.
3. Шаршунов, В. А. Технология и оборудование для производства спирта и ликеро-водочных изделий: пособие в двух частях / В. А. Шаршунов, Е. А. Цед [и др.]. – Минск: Мисанта, 2013.
4. Шаршунов, В. А. Технологическое оборудование мясоперерабатывающих предприятий / В. А. Шаршунов, И. М. Кирик. – Минск: Мисанта, 2012.
5. Шаршунов, В. А. Технологическое оборудование молокоперерабатывающих предприятий. – Минск: Мисанта, 2011.
6. **Шаршунов, В. А. Технологическое оборудование** плодоовощеперерабатывающих предприятий: пособие в двух частях / В. А. Шаршунов, Д. А. Смагин. – Минск: Мисанта, 2012.
7. Старшов, Г. И. Поточные технологические линии пищевых производств: учебное пособие к практическим занятиям / Г. И. Старшов, А. И. Никитин, К. В. Винокуров. – Саратов, 2009.
8. Панфилов, В.А. Технологические линии пищевых производств: создание технологического потока / В.А. Панфилов, О.А. Ураков. – М.: Пищевая промышленность, 1996. – 472 с.
9. Процессы и аппараты пищевых производств / Под ред. А. Н. Острикова. – СПб, 2012.
10. Технология пищевых производств / Л. П. Ковальская, И. С. Шуб, Г. М. Мелькина [и др.]; под ред. Л. П. Ковальской. – М.: Колос, 1997. – 752 с.

Учебное издание

Составители:

Мирошниченко Игорь Александрович

Мartiновская Оксана Владимировна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ на тему «Роторные машины»

по дисциплине

«Расчет и конструирование машин

и аппаратов пищевых производств»

для студентов специальности

1 - 36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств»

Ответственный за выпуск: Мирошниченко И.А.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано в печать 29.01.2018 г. Формат 60x84¹/₁₆. Бумага «Performer».

Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 1,16. Уч. изд. л. 1,25. Заказ № 1283. Тираж 30 экз.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный

технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.