

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Оборудование предприятий биотехнологической промышленности
Методические указания по выполнению практических работ

19.03.01 Биотехнология

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
Практическая работа №1 трубопроводы и арматура	9
Практическая работа №2. Гидравлические сопротивления в трубопроводе	13
Практическая работа 3. Изучение физико-механических свойств сыпучих материалов и жидких систем	19
Практическая работа №4. Насосы биотехнологических производств	30
Практическая работа №5. Трубчатые теплообменники	39
Практическая работа №6. Изучение и расчет пастеризационно-охладительных установок	46
Практическая работа №7. Расчет ферментаторов с механической мешалкой. Конструктивный расчет ферментатора	55
Практическая работа №8. Расчет ферментаторов с механической мешалкой. Расчет механической мешалки ферментатора	61
Практическая работа №9. Изучение технологии и аппаратурного оформления процессов теплового осаждения белков	71
Практическая работа № 10. Влияние технологических факторов на разделение эмульсий на сепараторах.	81
Практическая работа № 11. Оценка эффективности разделения суспензий различными методами.	97
Практическая работа № 12. Оборудование для отжима. Пресс сыродельный	104
Практическая работа 13. Ультрафильтрация биологических жидкостей изучение устройства и расчет	108
Практическая работа №14. Вакуум-выпарные установки	117
Практическая работа 15. Расчет и подбор вальцовых сушилок	128
Практическая работа № 16. Расчет и подбор распылительных сушилок	136
Практическая работа № 17. Чертеж блочной функциональной диаграммы технологического процесса	

ВВЕДЕНИЕ

Цель дисциплины – сформировать у студентов систему профессиональных знаний по классификации, устройству и принципу действия технологического оборудования биотехнологической промышленности, обеспечению качества продукции при эксплуатации оборудования.

Задачи дисциплины:

- изучить классификацию, устройство и принцип действия технологического оборудования для производства биотехнологических продуктов;
- ознакомиться с правилами эксплуатации технического обслуживания технологического оборудования, методами его подбора.

Дисциплина относится к естественнонаучным дисциплинам базовой части, её освоение происходит в 6, 7 семестре

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1 ТРУБОПРОВОДЫ И АРМАТУРА

1 Цель и содержание

Изучение конструкции технологических трубопроводов и арматуры. Получение навыков подбора арматуры для исполнения заданной конфигурации трубопровода.

2 Теоретическое обоснование

Технологические трубопроводы используют для внутривародской (межоперационной) транспортировки жидких и пастообразных молочных продуктов, и сырья самотеком, с использованием насосов, а в отдельных случаях с использованием вакуума или сжатого воздуха.

В молочной промышленности применяют трубы из стали, стекла, полимерных материалов, а также резинотканевые рукава (шланги).

Наибольшее распространение получили технологические трубопроводы из нержавеющей стали 12Х18Н10Т с условным диаметром прохода 25, 36, 50 и 75 мм, что позволяет использовать унифицированную арматуру.

Для соединения разборных металлических трубопроводов, а также присоединения трубопроводов к технологическому оборудованию используют резьбовое или зажимное муфтовое соединение.

Для создания конфигурации металлических трубопроводов используют, в первую очередь, отводы, тройники и другую арматуру. В качестве арматуры технологических трубопроводов, предназначенной для управления потоками, изменения их направления, выбора режимов транспортирования перекачиваемого продукта используют краны, вентили и клапаны.

3 Аппаратура и материалы

Элементы трубопроводов, трубопроводная арматура, линейка, штангенциркуль.

4 Указание по технике безопасности

При проведении замеров соблюдать осторожность, не допускать падение узлов и деталей трубопроводов и арматуры.

5 Методика и порядок выполнения работы

1. Указать типы и назначение трубопроводной арматуры. Выполнить эскиз муфтового соединения и одного из видов арматуры по заданию преподавателя.

2. Для заданной преподавателем аппаратурно-процессовой схемы осуществить подбор арматуры, включив ее в схему, используя следующие условные обозначения:

✕ проходной кран; Γ отвод;
✕ трехходовой кран; ⊥ тройник;
-┴- муфтовое соединение.

6 Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется в специальной тетради или листах формата А4. В отчете указывается цель и содержание работы, аппаратура и материалы, а также выполняются все задания, предусмотренные настоящими методическими указаниями.

7 Контрольные вопросы и защита работы

1. Какие требования предъявляются к изготовлению и монтажу трубопроводов?

2. Из каких материалов изготавливают технологические трубопроводы молочной промышленности?

3. Охарактеризуйте преимущества и недостатки различных материалов для изготовления трубопроводов.

4. Какие диаметры имеют стальные трубопроводы и почему?

5. Перечислите номенклатуру основной трубопроводной арматуры, применяемой в технологических трубопроводах.

6. Опишите принцип сборки трубопровода при помощи муфтового соединения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДЕ

1 Цель и содержание

Освоение методики гидравлического расчета трубопроводов.

2 Теоретическое обоснование

Наибольшее распространение получили технологические трубопроводы из нержавеющей стали 12Х18Н10Т с условным диаметром прохода 25, 36, 50 и 75 мм, что позволяет использовать унифицированную арматуру.

Требуемый диаметр трубопровода (d , м) определяется по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{900 \cdot M}{\pi \cdot w \cdot \rho}}, \quad (2.1)$$

где M – количество перекачиваемого продукта, кг/ч;

w – скорость движения жидкости, м/с;

ρ – плотность продукта (определяется при заданной температуре по таблице 2.1), кг/м³.

Скорость движения продукта принимается в следующих пределах (м/с):

- молоко цельное.....0,5...1,5;
- сливки.....0,5;
- обезжиренное молоко, сыворотка, пахта 1,0 ... 2,0.

Общие потери давления (ΔP , Па) при движении продукта в пастеризационно-охладительной установке можно определить по формуле:

$$\Delta P = \Delta P_{mp} + \rho \cdot g \cdot h + \Delta P_m + \Delta P_e, \quad (2.2)$$

где ΔP_{mp} – потери давления при движении жидкости по трубам, Па;

h – геометрическая высота подъема жидкости (находится путем суммирования всех значений участков подъема (+) и спуска (–) трубопровода), м;

ΔP_m – потери давления, вызванные наличием гидравлических сопротив-

лений пластинчатого теплообменника, Па;

ΔP_{ϵ} – потери давления при движении жидкости через выдерживатель, Па.

Потери давления на трение при движении по трубам рассчитывают по формуле:

$$\Delta P_{mp} = \frac{\rho \cdot w^2}{2} \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_{m.c.} \right), \quad (2.3)$$

где λ – коэффициент линейных сопротивлений;

$\sum \xi_{m.c.}$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений трубопровода;

l – суммарная длина трубопровода, м.

Коэффициент линейных сопротивлений зависит от режима движения жидкости и определяется по формулам:

Таблица 2.1 – Структурно-механические характеристики молочного сырья

Продукт	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$
Молоко цельное	5	1102,3	2,685
	10	1033,2	2,393
	15	1030,0	2,039
	20	1027,9	1,741
	30	1023,6	1,299
Сливки, 35 %	5	1003,9	78,150
	10	1000,9	39,190
	15	997,7	17,190
	20	994,5	11,840
	30	988,2	6,940
Сыворотка подсырная	15	1025,0	1,520
	20	1024,2	1,330
	25	1023,3	1,180
	30	1022,5	1,060
	35	1021,6	0,960
	40	1020,8	0,860
Пахта	15	1030,0	1,615
	20	1035,0	1,598

а) для ламинарного режима ($Re \leq 2320$)

$$\lambda = \frac{64}{Re};$$

б) для турбулентного и переходного режима ($Re > 2320$)

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}.$$

В свою очередь критерий подобия Рейнольдса равен

$$Re = \frac{w \cdot d_{cm}}{\nu}, \quad (2.4)$$

где ν – кинематическая вязкость перекачиваемой жидкости, m^2/c (определяется по заданной температуре продукта из таблицы 2.1).

Аналогично вычисляются потери давления при движении жидкости через выдерживатель

$$\Delta P_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot w_{\epsilon}^2}{2} \cdot \left(1 + \lambda \frac{l_{\epsilon}}{d_{\epsilon}} + \sum \xi_{\epsilon}^{м.с.} \right), \quad (2.5)$$

где w_{ϵ} – скорость движения жидкости в выдерживателе (определяют из формулы (2.1), используя вместо диаметра трубы внутренний диаметр выдерживателя), m/c ;

l_{ϵ} – длина труб выдерживателя, m ;

d_{ϵ} – внутренний диаметр труб выдерживателя, m ;

$\sum \xi_{\epsilon}^{м.с.}$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений выдерживателя.

Потери давления при движении жидкости через секцию теплообменника рассчитывают по формуле

$$\Delta P_T = i \cdot \epsilon \cdot \frac{w_m^2 \rho}{2}, \quad (2.6)$$

где i – количество пакетов в секциях теплообменника ($i = 17$);

ϵ – коэффициент сопротивления одного пакета;

w_m – скорость движения жидкости в каналах между пластинами, m/c .

Скорость движения жидкости в каналах между пластинами определяется по формуле

$$w_m = \frac{M}{3600 \cdot \rho \cdot b \cdot h \cdot m}, \quad (2.7)$$

где b – ширина канала (для пластины типа П-1 $b = 0,2$ м);

h – зазор между пластинами ($h = 0,0028$ м);

m – количество каналов в пакете ($m = 2$).

Коэффициент сопротивления каждого пакета, входящего в состав секции будет равен

$$\varepsilon = 8200 \cdot Re_m^{-0,25}, \quad (2.8)$$

где $Re_m = \frac{w_m \cdot 2 \cdot h}{\nu}$ – критерий подобия Рейнольдса при движении жидкости через теплообменник.

3 Аппаратура и материалы

Лабораторная пастеризационно-охладительная установка ОПФ-1, линейка, штангельциркуль.

4 Указание по технике безопасности

При проведении замеров соблюдать осторожность, не допускать падение узлов и деталей пастеризационно-охладительной установки.

5 Методика и порядок выполнения работы

1. Используя условные обозначения, выполнить гидравлическую схему пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1:

✕ проходной кран; Γ отвод;
 ✕ трехходовой кран; ⊥ тройник;
 → муфтовое соединение.

2. Определить длину горизонтальных участков трубопровода, величину участков подъемов и спусков. Замерить диаметр и длину труб выдерживателя. Результаты записать в отчет.

3. Рассчитать необходимый диаметр трубопровода и гидравлические

сопротивления пастеризационно-охладительной установки по исходным данным таблицы 2.2.

Таблица 2.2 – Данные к расчету трубопровода

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество перекачиваемого продукта, кг/ч	1000	2500	1000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	7000
Температура продукта, °С	18	23	26	28	16	8	12	14	16	19
Перекачиваемый продукт	сливки		молоко			сыворожка		пахта		

Необходимый диаметр трубопровода рассчитывается по формуле (2.1). Полученное значение диаметра округляется до стандартного значения, которое далее используется в расчетах.

Далее уточняется скорость движения жидкости при стандартном значении диаметра трубопровода.

Коэффициенты местных сопротивлений можно принять следующими:

- при входе жидкости в трубу – 0,5;
- при выходе жидкости из трубы – 1,0;
- для отвода и тройника – 0,15;
- для крана проходного в открытом положении – 0,05;
- для крана трехходового при повороте жидкости – 0,15, а при прямом движении жидкости – 0,05;
- для клапана – 0,19.

6 Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется в специальной тетради или листах формата А4. В отчете указывается цель и содержание работы, аппаратура и материалы, а также выполняются все задания, предусмотренные настоящими методическими указаниями.

7 Контрольные вопросы и защита работы

1. Какой принцип заложен в основу определения диаметра технологического трубопровода?
2. Изложите методику определения гидравлических сопротивлений.
3. От чего зависит коэффициент линейных сопротивлений.
4. От чего зависит коэффициент сопротивления пакета пластинчатого теплообменника?
5. Укажите пути снижения гидравлических сопротивлений трубопроводов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3. ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ЖИДКИХ СИСТЕМ

1. Цель работы: изучить классификацию, устройство и принцип действия транспортеров и насосов, используемых в биотехнологических производствах; овладеть методиками исследования физико-механических свойств сыпучих и жидких сред.

2. Теоретическое обоснование

На предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности широко используются транспортирующие машины для перемещения сыпучих видов сырья и компонентов питательных сред, сухих продуктов. Транспортирующие машины классифицируют по следующим признакам:

- *по способу передачи движущей силы* – с механическим приводом, самотечные, системы пневмотранспорта и гидротранспорта;
- *по конструкции* – с тяговым элементом (груз движется вместе с тяговым элементом), без тягового элемента (груз движется при вращательном или колебательном движении рабочего элемента);
- *по роду перемещаемых грузов* – для насыпных грузов, штучных, для насыпных и штучных грузов;
- *по направлению трассы перемещения грузов* – в одной вертикальной плоскости, в одной горизонтальной плоскости, по пространственной трассе;
- *по характеру движения рабочего (грузонесущего) элемента* (лента, настил, подвески, тележки) – с непрерывным, с периодическим (пульсирующим) движением, рабочий элемент может иметь поступательное, возвратно-поступательное, вращательное или колебательное движение;
- *по характеру перемещения груза* – на непрерывно движущемся несущем элементе (ленточные, пластинчатые конвейеры), в непрерывно движущихся рабочих элементах (ковшовые, подвесные, тележечные конвейеры), волочение груза по неподвижному желобу (скребковые,

винтовые конвейеры), скольжение груза (качающиеся инерционные и вибрационные конвейеры).

Выбор типа транспортирующей машины зависит от характера транспортируемого груза (насыпной или штучный), физико-механических свойств сыпучих материалов, требуемой производительности, схемы и размеров трассы транспортирования, допустимых габаритов машин, ее массы и стоимости.

Основными физико-механическими свойствами насыпных материалов являются: гранулометрический состав, плотность, влажность, угол естественного откоса, абразивность, липкость, слеживаемость, смерзаемость, сопротивление перемещению относительно твердых поверхностей.

Гранулометрический состав характеризуется количественным распределением частиц материала по их размеру. Коэффициент однородности размеров частиц груза рассчитывается по формуле:

$$K_0 = A_{\max} / A_{\min} , \quad (1.1)$$

где $A_{\max}$, $A_{\min}$ – соответственно наибольший и наименьший размер частиц, при $K_0 > 2,5$ груз считается рядовым, при $K_0 < 2,5$ – сортированным.

Плотность сыпучего материала – отношение массы материала к занимаемому им объему. Различают плотность при свободной насыпке (плотность насыпная) ρ и уплотненного насыпного груза $\rho_{\text{у}}$. По плотности насыпные грузы классифицируются на: легкие (при плотности менее $0,6 \text{ т/м}^3$); средние ($0,6 - 1,1 \text{ т/м}^3$); тяжелые ($1,2 - 2,0 \text{ т/м}^3$); весьма тяжелые (более $2,0 \text{ т/м}^3$).

Угол естественного откоса – угол между поверхностью свободного откоса насыпного груза и горизонтальной плоскостью. Различают углы естественного откоса насыпного груза в состояниях покоя и движения.

Истирающей способностью (абразивностью) сыпучих веществ называется свойство их частиц истирать во время движения

соприкасающиеся с ними поверхности. По степени абразивности насыпные грузы делятся на группы: А – неабразивные; В – малоабразивные, С – среднеабразивные; D – высокоабразивные.

Слеживаемость насыпных материалов – свойство многих порошкообразных веществ терять подвижность своих частиц в процессе хранения, особенно, при повышенной относительной влажности воздуха.

Сопротивление перемещению сыпучих веществ относительно поверхностей твердых тел характеризуется коэффициентами трения этих грузов в состояниях покоя и движения груза.

Штучными называются грузы, которые транспортируются штуками или группами. Различают непосредственно штучные и тарные грузы. Тарные грузы – насыпные или штучные грузы, помещенные в тару (ящики, бочки, мешки и др.).

В пищевой и биотехнологической промышленности для транспортировки жидких видов сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов, а также в непрерывных технологических схемах обработки жидких систем для подачи продукта на основное оборудование (теплообменники, фильтры, сепараторы, распылительные сушильные установки) применяют насосы.

Это гидравлические машины, преобразующие механическую энергию двигателя в энергию перемещаемой жидкости. Разность давлений жидкости в насосе и трубопроводе обуславливает ее перемещение. Насосы по принципу действия могут быть разделены на следующие типы: лопастные (центробежные), вихревые, осевые и объемные.

В лопастных (центробежных) насосах давление в жидкости создается центробежной силой, возникающей при вращении лопастных колес. В объемных насосах разность давлений возникает при вытеснении жидкости из замкнутого пространства телами, движущимися возвратно- поступательно (поршневые и плунжерные, мембранные) или вращательно

(шестеренные с внешним и внутренним зацеплением, ротационные, кулачковые, шланговые, винтовые).

Для перекачивания жидких продуктов, вязкость которых сравнительно мала, применяются в основном центробежные насосы. Жидкие среды повышенной вязкости перекачивают объемными насосами. Для транспортировки продуктов нежной консистенции, нативных растворов биологически активных веществ, микробных суспензий применяют насосы, которые оказывают минимальное механическое воздействие на жидкую фазу (мембранные, шланговые, винтовые). Для создания высокого давления в потоке жидкости применяют поршневые и плунжерные насосы.

Основными рабочими характеристиками насосов являются: подача, давление, напор, мощность, коэффициент полезного действия.

Подача насоса характеризуется количеством жидкости, которое насос может перекачать в единицу времени. Она может быть объемной (л/ч, м³/ч, м³/с) или массовой (т/ч, кг/с).

Давлением насоса в общем случае называется величина, определяемая зависимостью:

$$P = P_k - P_n + [\rho * (v_k^2 - v_n^2) / 2] + \rho * g * (Z_k - Z_n), \quad (1.2)$$

где P_k и P_n – давление на выходе и входе насоса, Па;

v_k и v_n – скорость жидкой среды на выходе и на входе насоса, м/с;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

Z_k и Z_n – высота центра тяжести сечения выхода и входа насоса, м.

Напором насоса называется приращение механической энергии, которое сообщает насос 1 кг жидкости, проходящей через него. Напор измеряется в метрах и показывает, на какую высоту насос может поднять жидкость.

Потребляемая насосом мощность расходуется на сообщение жидкости кинетической энергии и энергии давления, сумма которых и

составляет напор жидкости. Значительная часть мощности расходуется на механические и гидравлические потери в самом насосе. Мощность, потребляемая насосом, больше полезной мощности. Она учитывает потери энергии в насосе, относительная величина которых оценивается коэффициентом полезного действия насоса.

Коэффициент полезного действия характеризует совершенство конструкции и экономичность эксплуатации насоса. Величина КПД отражает потери мощности в насосе при перекачивании жидкости.

3. Аппаратура и материалы: весы лабораторные, набор сит, термостат суховоздушный, колбы мерные емкостью 25 – 50 см³, воронки с диаметром отверстия 10 – 20 мм, лактоденсиметр стеклянный типа А, набор ареометров, термометры ртутные стеклянные с диапазоном измерения 0 – 55 °С, цилиндры стеклянные емкостью 100 – 250 см³, вискозиметр лабораторный капиллярный, колбы термостойкие емкостью 200 – 250 см³, баня водяная, насос лабораторный перистальтический.

4. Указания по технике безопасности

Студенты могут быть допущены к работе только после ознакомления с правилами техники безопасности, знание которых преподаватель проверяет и фиксирует в журнале. При выполнении анализов нужно быть внимательным, соблюдать осторожность, все операции проводить аккуратно, без спешки, в рабочем халате. Категорически запрещается принимать пищу за лабораторным столом и пробовать на вкус химические вещества.

Используемая в лаборатории стеклянная посуда (приборы, стаканы, колбы) требует осторожного обращения. При перемешивании стеклянной палочкой нужно избегать ударов по стенкам сосуда. Нельзя нагревать химическую посуду без асбестовой сетки.

Работающие в лаборатории должны знать основные свойства реактивов, особенно степень их вредности и способность к образованию взрывоопасных и огнеопасных смесей с другими реактивами. На всех склянках с реактивами обязательно должны быть этикетки с обозначением,

что в них находится, или надписи, сделанные карандашом для стекла. Если на склянке с реактивом нет этикетки или надписи, то его нельзя применять до момента установления вещества.

С легковоспламеняющимися веществами, выделяющими летучие, ядовитые, кислые пары, а также неприятные запахи, необходимо работать только в вытяжном шкафу. При проведении работ в вытяжном шкафу голова и корпус тела должны оставаться вне шкафа; наблюдение за работой необходимо проводить через стекло опущенной створки. Разлитые кислоты и щелочи необходимо немедленно нейтрализовать, а затем тщательно смывать водой. Для нейтрализации щелочей применяются растворы борной или 8 %-й уксусной кислот, для нейтрализации кислот – 5 %-й раствор пищевой соды. Хромовую смесь, применяемую для посуды, и другие крепкие растворы нельзя всасывать пипеткой и выливать в раковину.

При работе с электроприборами под напряжением (сушильные шкафы и термостаты, электроплитки, центрифуги, сепараторы и др.) необходимо соблюдать следующие основные меры предосторожности. Не допускается попадание влаги на токоведущие части приборов. Не разрешается включать электроприборы в сеть влажными руками, прикасаться к поверхностям, проводящим электрический ток, в процессе работы. Перед включением приборов в сеть необходимо проверить целостность вилки, изоляции провода. Работу с приборами, находящимися под высоким напряжением разрешается проводить только под контролем преподавателя или лаборанта.

Несчастные случаи в лаборатории могут быть вызваны термическими или химическими ожогами, ранениями или отравлениями. При оказании первой помощи в лаборатории должна быть аптечка, в которой всегда имеются бинты, гигроскопическая вата, 3 – 5 %-й раствор йода, 1 %-й раствор борной кислоты, 5 %-й раствор уксусной или молочной кислот, 2 – 3 %-й раствор двууглекислого натрия коллодий и др. В тяжелых случаях необходимо обратиться к врачу.

При химических ожогах кислотами обожженное место обильно промывают водой, прикладывают примочки из 2 – 3 %-го раствора пищевой соды, риванола (1:100) или фурацилина (1:5000), при ожоге второй степени – повязку со стрептоцидовой или синтомициновой эмульсиями. При химических ожогах щелочами и концентрированным раствором аммиака обожженное место обильно промывают в течение нескольких минут водой и накладывают повязки из 5 %-го раствора уксусной кислоты, соляной, лимонной и других слабых кислот. При ожоге формалином обожженное место обильно промывают 5 %-м раствором нашатырного спирта (аммиака) или водой.

При попадании кислоты или щелочи в глаз необходимо немедленно промыть его большим количеством воды в течение 10 – 30 минут, а затем в случае ожога кислотой 2 – 3 %-м раствором бикарбоната натрия, при ожоге щелочью 2 %-м раствором борной кислоты, при попадании аммиака 0,5 – 1 %-м раствором квасцов. При химических ожогах полости рта щелочами рот прополаскивают 3 %-м раствором уксусной кислоты или 2 %-м раствором борной кислоты. При ожогах кислотами рот прополаскивают 5 %-м раствором бикарбоната натрия.

При ранениях стеклом рану очищают от осколков, а затем смазывают йодом и завязывают бинтом. При отравлениях химикатами следует немедленно вызвать врача или немедленно отправить пострадавшего в медпункт.

5. Методика и порядок выполнения работы

1. Для выполнения задания студентам необходимо рассмотреть классификацию устройств для транспортирования сыпучих веществ и насосов для перекачивания жидких сред. В отчете о работе привести схемы, описание устройства и принципа действия, основные расчетные формулы основных типов транспортеров (ленточных, скребковых, винтовых, пластинчатых, элеваторов и норий) и насосов (центробежных, ротационных, поршневых и плунжерных, винтовых, мембранных, шланговых).

2. Студенты по заданию преподавателя исследуют физико-механические характеристики различных сыпучих видов сырья, используемых в биотехнологических производствах по следующим методикам.

2.1. *Исследование гранулометрического состава.* Для проведения гранулометрических исследований используют набор сит с калиброванными отверстиями. Определяют массу каждого сита, записывают диаметр отверстий. Навеску сыпучего вещества массой 10 – 15 г, взвешенную с точностью до 0,01 г, помещают на верхнюю решетку набора сит, просеивают образец в течение 10 минут. Определяют массы сит с продуктом и рассчитывают массу каждой фракции, средний диаметр частиц преобладающей фракции.

2.2. *Определение насыпной массы.* Мерную колбу (пикнометр) емкостью 25 – 50 см³ помещают в термостат при 20°C и выдерживают в течение 10 – 15 минут, после чего взвешивают с точностью до 0,01 г. Далее в колбу помещают исследуемое сыпучее вещество до метки и снова помещают в термостат при 20°C на 10 – 15 минут. После термостатирования колбу с исследуемым образцом взвешивают с точностью до 0,01 г. Насыпную массу исследуемого вещества рассчитывают по формуле:

$$M_n = (M_1 - M_2) / V, \quad (1.3)$$

где M_1 , M_2 – масса колбы с навеской исследуемого вещества и пустой колбы, кг;

V – объем колбы при температуре 20°C, м³.

2.3. *Исследование сыпучести сухих видов сырья.* Сыпучесть различных порошкообразных и грубодисперсных веществ можно оценить по скорости их истечения через калиброванное отверстие. Для исследования сыпучести сухих видов сырья навеску массой 10 – 15 г помещают в воронку с диаметром отверстия 10 – 20 мм, предварительно закрыв отверстие воронки. Открывают воронку и фиксируют время истечения навески образца.

3. Исследование физико-механических свойств жидких видов сырья проводят по приведенным ниже методикам.

3.1. *Определение плотности ареометрическим методом.* Цилиндр с исследуемой пробой устанавливают на ровной поверхности и измеряют температуру пробы, t_1 . Сухой и чистый ареометр опускают медленно в исследуемую пробу, погружая его до тех пор, пока до предполагаемой отметки ареометрической шкалы не останется 3–4 мм, затем оставляют его в свободно плавающем состоянии. Ареометр не должен касаться стенок цилиндра.

Первый отсчёт показаний плотности ρ_1 проводят визуально со шкалы ареометра через 3 минуты после установления его в неподвижном положении. После этого ареометр осторожно приподнимают на высоту до уровня балласта в нём и снова опускают, оставляя его в свободно плавающем состоянии. После установления его в неподвижном состоянии проводят второй отсчёт показаний плотности ρ_2 . При отсчёте показаний плотности глаз должен находиться на уровне мениска. Отсчёт показаний проводят по верхнему краю мениска. Затем измеряют температуру t_2 пробы.

За среднее значение температуры t исследуемой пробы принимают среднее арифметическое результатов двух показаний t_1 и t_2 . За среднее значение показаний ареометра при температуре исследуемой пробы молока принимается среднее арифметическое результатов двух показаний ρ_1 и ρ_2 . Если проба во время определения плотности имела температуру выше или ниже 20 °С, то результаты определения плотности при температуре t должны быть приведены к 20 °С в соответствии со специальными таблицами или расчетными формулами.

3.2. *Определение кинематической и динамической вязкости жидкостей.* Определение кинематической вязкости исследуемых жидкостей проводят с помощью лабораторного капиллярного вискозиметра по времени

истечения жидкости через калиброванный капилляр прибора. Расчетная формула для определения кинематической вязкости:

$$\nu = (g * T * K) / 9,807, \quad (1.4)$$

где g – ускорение свободного падения в месте измерения, м/с²;

T – время истечения жидкости, с;

K – постоянная вискозиметра (по паспорту прибора).

Динамическую вязкость жидкости рассчитывают по формуле:

$$\mu = \nu * \rho, \quad (1.5)$$

где ρ – плотность жидкости при температуре 20 °С.

3.3. Исследование влияния температуры на скорость перекачивания жидкости. В химическом стакане или термостойкой колбе подогревают 200 – 250 см³ исследуемой жидкости до температур 20 °С, 30 °С, 40 °С, 50 °С. Жидкость перекачивают лабораторным насосом и отмечают для каждой температуры время перекачивания.

4. Результаты исследований заносят в таблицы 1. 1 и 1. 2.

Таблица 1. 1 – Результаты исследований физико-механических свойств сыпучих веществ

№ бригады	Исследуемое вещество	Средний размер частиц, мм	Насыпная масса, кг/м ³	Время истечения, с

Таблица 1. 2 – Результаты исследований физико-механических свойств жидкостей

№ бригады	Исследуемое вещество	Плотность, кг/м ³	Вязкость		Скорость движения, см ³ /с при температуре, °С			
			м ² /с	Па*с	20	30	40	50

Сопоставляя данные, полученные бригадами для различных сыпучих материалов, анализируют влияние гранулометрического состава на физико-механические свойства веществ.

По результатам опыта строят график зависимости объемной скорости движения жидкости (см³/с) от температуры. Анализируют влияние плотности

и вязкости, температуры на скорость перекачивания исследованных жидкостей.

Содержание отчета и его форма

Отчет о работе должен содержать:

- титульный лист;
- цель и алгоритм проведения работы;
- теоретическое обоснование;
- классификацию, устройство, принцип действия основных типов транспортеров и насосов;
- описание методик проведения экспериментов;
- результаты исследований;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. виды и характеристика сырья, используемого при выработке пищевых продуктов;
2. физико-химические показатели сырья и их использование при расчетах различного вида аппаратов и машин;
3. классификация, устройство и принцип действия основных типов транспортеров;
4. классификация, устройство и принцип действия основных типов насосов, рабочие характеристики насосов;
5. методики исследования физико-механических свойств сыпучих материалов и жидких систем.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4.

НАСОСЫ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

1. Цель и содержание

Изучение конструкции и принципа действия насосов для биотехнологической отрасли. Освоение методики расчета и подбора насосов.

2 Теоретическое обоснование

Насосы относятся к вспомогательному оборудованию микробиологических производств. Это машины, предназначенные для создания и поддержания постоянного потока жидкости. Разделяются насосы на два класса: динамические и объемные. В динамических насосах перемещение жидкости происходит за счет динамического взаимодействия между рабочими частями насоса и жидкостью; в объемных насосах - за счет периодического изменения объема камеры при возвратно-поступательном или вращательном движении рабочего органа. Динамические насосы можно разделить на два подкласса - лопастные и трения. Из подкласса лопастных насосов можно выделить следующие группы: центробежные, вихревые, осевые и диагональные. Из подкласса насосов трения наиболее широкое распространение получили струйные и эрлифтные насосы. Класс объемных насосов также можно разделить на два подкласса: роторные насосы и работающие на принципах возвратно-поступательного движения. Роторные насосы разделяются на три группы: шестеренчатые (шестеренные), винтовые и шибберные. К группе возвратно-поступательных насосов относятся: поршневые, плунжерные, диафрагменные, шланговые и пневматические. Рассмотрим группы наиболее часто встречающихся насосов.

Центробежные насосы нашли наиболее широкое применение в народном хозяйстве. Они используются для перекачивания маловязких жидкостей с температурой до 100 °С. Рабочее колесо - основной орган насосов этого типа. Рабочее колесо расположено в корпусе насоса, который имеет патрубки для подвода и отвода жидкости. Преимущества центробежных насосов: возможность непосредственного соединения с быстроходным

электродвигателем, равномерность потока, малые габариты и масса. К недостаткам насосов следует отнести: низкий КПД при малой подаче и большом напоре, понижение КПД при перекачивании вязких жидкостей.

Полный напор (Н), создаваемый рабочим колесом, можно рассчитать по формуле:

$$H = \frac{v_o^2}{g} = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot D^2}{g} \quad (1)$$

где v_o - окружная скорость рабочего колеса, м/с; g - ускорение свободного падения, м/с²; n - частота вращения рабочего колеса, 1/с; D - диаметр рабочего колеса, м.

Мощность, потребляемую насосом, рассчитывают по формуле:

$$N = \frac{M \cdot H \cdot \rho_{ж}}{100 \cdot \eta} \quad (2)$$

где M - производительность насоса, м³/с; η - коэффициент полезного действия центробежного насоса ($\eta = 0,2 - 0,4$); $\rho_{ж}$ - плотность жидкости, кг/м³.

Взаимосвязь между частотой вращения рабочего колеса, производительностью, напором и мощностью, потребляемой насосом, можно выразить следующими уравнениями:

$$\frac{n}{n_2} = \frac{M}{M_2}; \quad \frac{n^2}{n_2^2} = \frac{H}{H_2}; \quad \frac{n^3}{n_2^3} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (3)$$

где n_1, n_2 - соответственно паспортная и измененная частота вращения рабочего колеса насоса; H_1, M_1, N_1 - соответственно напор, производительность и потребляемая мощность при паспортном числе оборотов; H_2, M_2, N_2 - соответственно напор, производительность и потребляемая мощность при измененном числе оборотов.

Шестеренчатые насосы. Состоят из двух цилиндрических зубчатых колес с небольшими радиальными торцевыми зазорами, расположенных внутри корпуса. Область всасывания создается там, где зубья выходят из зацепления, а область нагнетания - там, где они входят в зацепление. При

изменении вращения шестерен продукт будет перекачиваться в обратную сторону и нагнетательный патрубок будет всасывающим и наоборот.

Для ориентировочных расчетов теоретической производительности шестеренчатых насосов (в м³/с) можно воспользоваться следующей формулой:

$$Q_T = 0,42 \cdot D_H \cdot Z \cdot m \cdot b \cdot n \quad (4)$$

где D_H - диаметр начальной окружности шестерни, м; Z - число зубьев шестерни; m - модуль, м; b - ширина зуба шестерни, м; n - частота вращения, с⁻¹. Эта формула дает несколько завышенные результаты. Действительная подача насоса будет равна:

$$Q_d = Q_T \cdot \eta \quad (5)$$

где η - объемный к.п.д. насоса, равный 0,75-0,85.

Винтовые насосы относятся к объемным. Жидкость перемещается вдоль оси вращения рабочих органов за счет периодического изменения объема занимаемой ею камеры. Винтовые насосы создают давления, имеют весьма малое перемешивание перекачиваемой жидкости, равномерную подачу и обеспечивают хорошее всасывание.

Действительная объемная подача винтового насоса (м³/с) равняется:

$$Q = \frac{4 \cdot e \cdot D \cdot T \cdot n}{60} \cdot \eta_o \quad (6)$$

где e - величина эксцентриситета, м; D - диаметр сечения винта, м; T - шаг обоймы, м; n - частота вращения винта, об/мин; η_o - объемный к.п.д., учитывающий утечки (для одновинтовых насосов колеблется в пределах 0,65-0,90)

Напор насоса (м.вод. ст.) рассчитывают по формуле:

$$H = \frac{\Delta p \cdot L}{T \cdot \gamma}, \quad (7)$$

где Δp - перепад давления по шагам обоймы (для насосов, работающих на давлении до 1 МПа, составляет 15-25 м.вод. ст.), Па ; L - длина рабочей части обоймы, м; γ - удельный вес перекачиваемого продукта, Н/м³.

Мощность (кВт) на валу насоса определяют по формуле:

$$N = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{102 \cdot \eta}, \quad (8)$$

где η - полный к.п.д. одновинтовых насосов (произведение частных к.п.д. насоса - объемного, гидравлического и механического) находится в пределах 0,1-0,6; γ - удельный вес перекачиваемого продукта, кг/м³.

Поршневые и плунжерные насосы относятся к группе возвратно-поступательных насосов. Рабочие органы у таких насосов выполнены в виде поршней или плунжеров. Они могут быть простого или двойного действия. Применяют такие насосы для перекачивания вязких жидкостей и при создании большого давления. Подача плунжерного насоса зависит от числа ходов поршня и его размеров. Производительность насоса можно рассчитать по формуле:

$$Q = \frac{60 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S \cdot n}{4} \cdot \eta_o = 47,1 \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot \eta_o, \quad (9)$$

где Q - подача насоса, м³/ч; D - диаметр поршня, м; S - ход поршня, м; n - число двойных ходов поршня (или число оборотов кривошипа в минуту); η_o - объемный к.п.д., примерно равен 0,7-0,9.

Производительность насоса двустороннего действия определяют по формуле:

$$Q = 47,1 \cdot (2D^2 - d^2) \cdot S \cdot n \cdot \eta_o, \quad (10)$$

где d - диаметр штока, м.

Мощность, потребляемая для работы насоса, определяется по формуле:

$$N = \frac{Q \cdot p_n}{3600 \cdot \eta_m}, \quad (11)$$

где Q - подача насоса, м³/ч; p_n - давление насоса, Па; η_m - механический к.п.д. насоса, равен 0,8-0,9.

2. Аппаратура и материалы

Насосы центробежные и объемные (шестеренчатые, коловратные), установленные в лаборатории оборудования предприятий молочной промышленности, штангенциркуль.

Указание по технике безопасности

При проведении замеров соблюдать осторожность, не допускать падение узлов и деталей насосов.

3. Методика и порядок выполнения работы

Каждый студент получает индивидуальное задание согласно приложению Б и проводит все расчеты самостоятельно

1. Приводится краткая характеристика центробежных насосов, их устройство и принцип работы.

2. Рассчитывается диаметр рабочего колеса типового центробежного насоса согласно индивидуальному заданию. Для этого можно использовать формулу (1) для определения полного напора насоса.

3. Рассчитать изменение полного напора насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса в сторону уменьшения для быстроходных насосов или увеличения для тихоходных насосов с шагом 6 с^{-1} . При расчетах использовать формулу (1).

4. Рассчитать изменение производительности насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса по данным п. 3. При расчетах можно воспользоваться зависимостью закона пропорциональности (формула 3).

5. Изобразить графически полученные зависимости и оценить полученные результаты.

6. Рассчитать мощность, потребляемую насосом, при изменении его производительности (п. 4), зависимость изобразить графически и оценить полученные результаты. Потребляемую мощность можно рассчитать по формуле (2).

7. Рассчитать коэффициенты быстроходности насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса (п. 3, 4). Для расчетов можно воспользоваться формулой (12).

В зависимости от коэффициента быстроходности насосы делят на три группы: тихоходные ($n_6 = 40 - 80$), нормальные ($n_6 = 80 - 140$), быстроходные ($n_6 = 140 - 300$). Увеличение коэффициента быстроходности ведет к уменьшению отношения D_2 / D_1 , где D_2 - наружный диаметр лопастного колеса, D_1 - наибольший диаметр отверстия входа потока жидкости в лопастное колесо. Для тихоходных насосов это соотношение должно составлять, ориентировочно, 21,5; для нормальных - 2,0, а для быстроходных - 1,8-1,4.

Анализ формулы расчета коэффициента быстроходности позволяет сделать ряд выводов: увеличение подачи жидкости и уменьшение полного напора ведут к увеличению коэффициента быстроходности и наоборот; насосы с одинаковой производительностью и напором, но имеющие разные коэффициенты быстроходности имеют разные размеры: размер насосов с большим коэффициентом быстроходности меньше; при одинаковой скорости вращения рабочего колеса и одинаковой производительности насосы с большим коэффициентом быстроходности будут работать при меньших напорах; при одинаковых скоростях вращения рабочего колеса и одинаковых напорах насосы с большим коэффициентом быстроходности будут давать большую подачу.

8. Рассчитать зависимость и изобразить её графически между полным напором и производительностью насоса при постоянном вращении рабочего колеса. Для расчетов можно воспользоваться формулой (12). Дать анализ полученным результатам.

Пример выполнения расчетов

Исходные данные для расчетов: типоразмер насоса - Г2 - ОПВ: подача - $10 \text{ м}^3 / \text{ч}$; напор 31, 5 м; частота вращения рабочего колеса - 48 с^{-1} ; мощность электродвигателя - 3,0 кВт.

1. Рассчитываем диаметр рабочего колеса, используя формулу (1):

$$D = \sqrt{\frac{31,5 \cdot 9,8}{(3,14 \cdot 48)^2}} = 0,12 \text{ м}$$

2. Задаемся значениями частоты вращения рабочего колеса: $n_2 = 42 \text{ с}^{-1}$; $n_3 = 36 \text{ с}^{-1}$; $n_4 = 30 \text{ с}^{-1}$; $n_5 = 24 \text{ с}^{-1}$. Рассчитываем изменение полного напора, производительности и потребляемой мощности, используя зависимости (3), например:

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 = 31,5 \cdot \left(\frac{42}{48} \right)^2 = 24,1 \text{ м};$$

$$M_2 = M_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} = 10 \cdot \frac{42}{48} = 8,75 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$N_2 = N_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 = 3 \cdot \left(\frac{42}{48} \right)^3 = 2,01 \text{ кВт};$$

Результаты расчетов сводим в таблицу

Частота вращения, n , с^{-1} .	Полный напор, H , м	Производительность, M , $\text{м}^3 / \text{ч}$	Потребляемая мощность, N , кВт
48	31,5	10,0	3,00
42	24,1	8,75	2,01
36	17,7	7,50	1,27
30	12,3	6,25	0,73
24	7,9	5,00	0,38

3. Рассчитываем коэффициент быстроходности по формуле (12):

$$n_{61} = \frac{3,65 \cdot 48 \cdot \sqrt{10}}{\sqrt[4]{315^3}} = 41,67;$$

$$n_{62} = \frac{3,65 \cdot 42 \cdot \sqrt{8,75}}{\sqrt[4]{24,1^3}} = 41,69 ;$$

$$n_{63} = \frac{3,65 \cdot 36 \cdot \sqrt{7,5}}{\sqrt[4]{17,7^3}} = 41,70 ;$$

$$n_{64} = \frac{3,65 \cdot 30 \cdot \sqrt{6,25}}{\sqrt[4]{12,3^3}} = 41,68 ;$$

$$n_{65} = \frac{3,65 \cdot 24 \cdot \sqrt{5}}{\sqrt[4]{7,9^3}} = 41,57 .$$

4. Рассчитываем зависимость между полным напором и производительностью насоса при постоянном вращении рабочего колеса ($n = 48 \text{ с}^{-1}$) и коэффициенте быстроходности $n_6 = 41,7$, используя формулу (12):

$$M_1 = \left(\frac{41,7 \cdot \sqrt[4]{31,5^3}}{48 \cdot 3,65} \right)^2 = 10,02 \text{ м}^3 / \text{с} ;$$

$$M_2 = \left(\frac{41,7 \cdot \sqrt[4]{24,1^3}}{48 \cdot 3,65} \right)^2 = 6,7 \text{ м}^3 / \text{с} ;$$

$$M_3 = \left(\frac{41,7 \cdot \sqrt[4]{17,7^3}}{48 \cdot 3,65} \right)^2 = 4,2 \text{ м}^3 / \text{с} ;$$

$$M_4 = \left(\frac{41,7 \cdot \sqrt[4]{12,3^3}}{48 \cdot 3,65} \right)^2 = 2,4 \text{ м}^3 / \text{с} ;$$

$$M_5 = \left(\frac{41,7 \cdot \sqrt[4]{7,9^3}}{48 \cdot 3,65} \right)^2 = 1,3 \text{ м}^3 / \text{с} .$$

Индивидуальные задания для расчетов

Типоразмер электро-насоса (по ГОСТ 3347-75)	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения раб колеса, с ⁻¹	Мощность элетродви-гателя, кВт
Г2-ОПА (36-1Ц1, 8-12)	6,3	12,5	46,9	0,8
Г2-ОПБ (36-1Ц2, 8-20)	10,0	20,0	47,8	1,5
Г2-ОПВ (36-1Ц2, 8-31)	10,0	31,5	48,0	3,0
50МЦ25-31 (50-1Ц7, 1-31)	25,0	31,5	48,3	5,5
75МЦ50-31 (75-1Ц14,0-31)	50,0	31,5	48,6	10,0
Г2-ОПД (50-3Ц7, 1-20)	25,0	20,0	48,5	5,5
36 МЦ 6-12	6,0	12,0	46,7	0,6
36 МЦ 10-20	10,0	20,0	47,8	1,5
О-85-800Г	600,0	4,6	13,0	17,0
0-85-800Г	800,0	4,2	13,0	17,0
0-85-800Г	900,0	3,5	13,0	17,0
0-85-1100Г	900,0	7,9	16,0	30,0

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5. ТРУБЧАТЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ

1 Цель и содержание

Изучение устройства и принципа действия изучение устройства и принципа действия трубчатых теплообменников для молока и молочных продуктов. Освоение методики их расчета.

2 Теоретическое обоснование

Среди множества существующих конструкций теплообменных аппаратов в молочной промышленности нашли применение следующие типы теплообменников: трубчатые (кожухотрубные), двухтрубные (типа «труба в трубе»), пластинчатые, с теплообменной рубашкой, змеевиковые, спиральные, вальцовые, шнековые, роторные (скребковые), а также пароконтактные.

Выбор типа теплообменного аппарата зависит от принятого теплового процесса для данного продукта и технических и эксплуатационных данных аппарата.

Трубчатые аппараты используют, например, для пастеризации молока и сливок при высоких температурах. Недостатком трубчатых аппаратов являются их большие размеры по сравнению, например, с пластинчатыми и, как правило, отсутствие регенерации тепла.

Основной особенностью трубчатых (кожухотрубных) теплообменников, применяемых в молочной промышленности, следует считать, то, что количество ходов по трубному пространству в них равно количеству труб. Это достигается конструкцией трубных решеток, на которых теплообменные трубки попарно соединены специальными проточками. В некоторых конструкциях проточки выполнены на крышках.

К особенностям рассматриваемых трубчатых теплообменников следует отнести также то, что теплообменники являются горизонтальными и имеют шарнирно установленные крышки, что должно обеспечить удаление из аппарата остатков продукта, удобство очистки и мойки теплообменных труб.

Исходя из условий теплообмена и эксплуатации аппарата, пар направляется в межтрубное пространство, а нагреваемая жидкость (молоко) в трубах.

3 Аппаратура и материалы

Лабораторная установка Т1-ОУН, штангенциркуль, инструмент и приспособления для разборки теплообменника.

4 Указание по технике безопасности

При проведении замеров соблюдать осторожность, не допускать падение узлов и деталей установки.

5 Методика и порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и принцип действия лабораторной трубчатой теплообменной установки. Выполнить эскизы размещения труб на трубных решетках. Определить длину, внутренний диаметр и количество труб. Выполнить схему, поясняющую последовательность движения продукта.

2. Выполнить принципиальную схему трубчатого теплообменника и описать ее.

3. Построить температурный график установки. Начальная температура молока - $t_n = 10^\circ\text{C}$, конечная - $t_k = 85^\circ\text{C}$ и температура пара $t_n = 105^\circ\text{C}$.

4. Выполнить поверочный расчет производительности трубчатой пастеризационной установки.

Средняя разность температур определяется по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mu}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mu}}}, ^\circ\text{C}, \quad (5.1)$$

м

где Δt_{δ} - большая и меньшая разности температур (взять из температурного графика установки), $^\circ\text{C}$.

Теплопередающая поверхность теплообменника:

$$F = \pi \cdot d_{\delta} \cdot l \cdot n, \text{ м}^2, \quad (5.2)$$

где d - внутренний диаметр труб, м;

L - длина труб, м;

n - количество труб в обоих цилиндрах теплообменника.

Скорость движения продукта внутри труб:

$$w = \frac{4 \cdot G}{3600 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d_g}, \text{ м/с}, \quad (5.3)$$

где G - производительность теплообменника, кг/ч;

ρ - плотность продукта (определяется по его средней температуре, кг/м³).

Для турбулентного режима движения жидкости ($Re \geq 10000$) определяют α_2 по критериальному уравнению:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}, \quad (5.4)$$

где Re - критерий Рейнольдса;

Pr - критерий Прандтля.

$$Re = \frac{w \cdot d_g}{\nu}, \quad (5.5)$$

где ν - коэффициент кинематической вязкости продукта, м²/с.

$$Pr = \frac{c \cdot \nu \cdot \rho}{\lambda}, \quad (5.6)$$

где ρ - плотность продукта, кг/м³;

λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Справочные величины выбирают по средней температуре продукта (таблица 4.1).

Определив критерии Re и Pr , находят значение критерия Nu и по нему вычисляют коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_g}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}, \quad (5.7)$$

Коэффициент теплоотдачи α_1 находят по формуле, полученной из критериального уравнения, описывающего теплоотдачу при обогреве водяным паром:

$$\alpha_1 = 1,28 \cdot \varepsilon \cdot \frac{A_T}{(d_n \cdot \Delta t_1)^{0,25}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}, \quad (5.8)$$

где d_n - наружный диаметр трубы ($d_n = d_g + 2 \cdot \delta_{cm}$, где δ_{cm} - толщина стенки трубы, принять равной 2 мм), м;

Δt_1 - разность температур пара и наружной стенки, °С.

$$\Delta t_1 = t_n - t_{cm}, \text{ °С};$$

A_T - эмпирический коэффициент, зависящий от температуры пара (таблица 5.1);

ε - эмпирический коэффициент, учитывающий ухудшение теплоотдачи в пучке труб по сравнению с одной трубой ($\varepsilon = 0,8$).

Таблица 5.1 - Значения коэффициента A_T .

, °С	100	110	120	130
	6960	7100	7240	7420

Коэффициент теплопередачи определяют по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_{zag}}{\lambda_{zag}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}, \quad (5.9)$$

где δ_{zag} - толщина слоя загрязнения ($\delta_{zag} = 1 \cdot 10^{-4}$ м), м;

$\lambda_{cm} = 17,4$ - коэффициент теплопроводности материала трубы (нержавеющая сталь), Вт/(м·К);

$\lambda_{zag} = 3$ - коэффициент теплопроводности слоя загрязнения, Вт/(м·К).

Ввиду того, что в уравнении (5.8) величина неизвестна, задаются несколькими значениями:

$$\Delta t_1 \left(\underset{1}{\Delta t_1' = 0,1 \Delta t_{cp}}, \underset{1}{\Delta t_1'' = 0,15 \Delta t_{cp}}, \Delta t_1''' = 0,2 \Delta t_{cp} \dots \right),$$

определяют соответствующие значения α_1 , а затем из уравнения (5.9) - коэффициент теплопередачи k .

После этого определяют величину удельного теплового потока:

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1, \text{ Вт/м}^2 \quad (5.10)$$

и величину общего температурного напора:

$$\Delta t = \frac{q}{k}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.11)$$

Вычисления сводят в таблицу 5.2.

Таблица 5.2.

Определяемая величина	Размерность	Температурный напор, $^\circ\text{C}$		
		$\Delta t'_1$	$\Delta t''_1$	$\Delta t'''_1$
α_1	Вт/(м ² ·К)			
k	Вт/(м ² ·К)			
q	Вт/м ²			
Δt	$^\circ\text{C}$			

Строится нагрузочная характеристика в виде графика $\Delta t = f(q)$ и по известной величине Δt_{cp} определяется значение удельного теплового потока q .

Тогда коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

$$k = \frac{q}{\Delta t_{cp}}, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}. \quad (5.12)$$

Фактическая производительность теплообменника равна:

$$G = \frac{k \cdot F \cdot \Delta t_{cp}}{c \cdot (t_k - t_n)}, \text{ кг/с}. \quad (5.13)$$

6 Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется в специальной тетради или листах формата А4. В отчете указывается цель и содержание работы, аппаратура и материалы, а также выполняются все задания, предусмотренные настоящими методическими указаниями.

7 Контрольные вопросы и защита работы

1. Какие технологические требования предъявляются к оборудованию для тепловой обработки молока и жидких молочных продуктов
2. Какие теплообменники применяют в молочной промышленности и

как они классифицируются?

3. В чем специфическая особенность трубчатых теплообменников, применяемых в молочной промышленности?

4. Как загрязнение поверхности теплообменных труб влияет на интенсивность теплопередачи?

5. Какие элементы входят в состав трубчатой пастеризационной установки?

6. Укажите пути совершенствования трубчатых теплообменников.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6.

ИЗУЧЕНИЕ И РАСЧЕТ ПАСТЕРИЗАЦИОННО-ОХЛАДИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

1. Цель и содержание работы

Изучить устройство, комплектность пастеризационно-охладительных установок; принцип их работы; составить принципиальную схему движения сырья, греющей и охлаждающей жидкости в аппарате; рассчитать потребность тепла для пастеризации и холода для охлаждения продукта; рассчитать экономию тепла и холода в секции регенерации; по заданным параметрам определить поверхность нагрева каждой секции и рассчитать количество пластин для них.

2. Теоретическое обоснование

Пластинчатые теплообменные аппараты нашли широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. В микробиологической промышленности они применяются в процессах непрерывной стерилизации жидких питательных сред и конденсации паров, как пастеризаторы при теплообмене между двумя, тремя и большим количеством рабочих сред. Существенным преимуществом пластинчатых теплообменников является быстрая и легкая разборка и сборка аппаратов, доступность для очистки теплопередающих поверхностей и сравнительно высокие коэффициенты теплопередачи для жидкостей до 2500 - 3800 Вт/м² град. Площадь поверхности теплопередачи разборных теплообменников может достигать 500 м². Пластины изготавливают из коррозиестойких материалов (титан, хромоникелевая сталь и др.). Теплообменники могут работать при давлении до 1,6 МПа и температуре теплоносителей до 180 °С.

Основными рабочими элементами теплообменника являются пластины, которые устанавливаются на станину в определенной последовательности. Часть теплообменника, охлаждаемая или обогреваемая одним теплоносителем и состоящая из одного или нескольких пакетов, называется секцией. Один

аппарат может состоять из нескольких секций различного назначения: пастеризации, регенерации тепла, охлаждения.

Удельная поверхность теплопередачи пластинчатых теплообменников достигает 200 м^2 на 1 м^3 объема рабочей зоны. К примеру, трубчатые теплообменники имеют максимальную поверхность теплопередачи 40 м^2 на 1 м^3 объема рабочей поверхности.

Производительность пластинчатых теплообменников зависит от количества и размера пластин и может достигать 550 м^3 /ч. Конструкция пластинчатых теплообменников позволяет легко менять площадь поверхности теплообмена за счет установки различного количества пластин и тем самым изменять производительность аппаратов. Благодаря турбулентному движению жидкости между пластинами, коэффициент теплопередачи у таких аппаратов значительно выше, чем у кожухотрубных теплообменников типа “труба в трубе”, змеевиковых и др.

Пластинчатые установки позволяют легко автоматизировать теплообменные процессы и комплектуются необходимыми аппаратами в зависимости от назначения установки. В комплект автоматизированных пластинчатых установок ОП2-У5, предназначенных для пастеризации и охлаждения молока, входят: пластинчатый теплообменник, промежуточный уравнильный бак с поплавковым регулятором уровня, насос для молока, два сепаратора-очистителя, бойлер, насос для воды, инжектора, выдерживателя, щита управления с контрольными и регулируемыми приборами, комплектом соединительных трубопроводов и арматуры. Установки могут быть успешно использованы для пастеризации и охлаждения других жидкостей.

3. Аппаратура и материалы

Лабораторная пастеризационно-охладительная установка ОПФ-1, линейка, штангельциркуль.

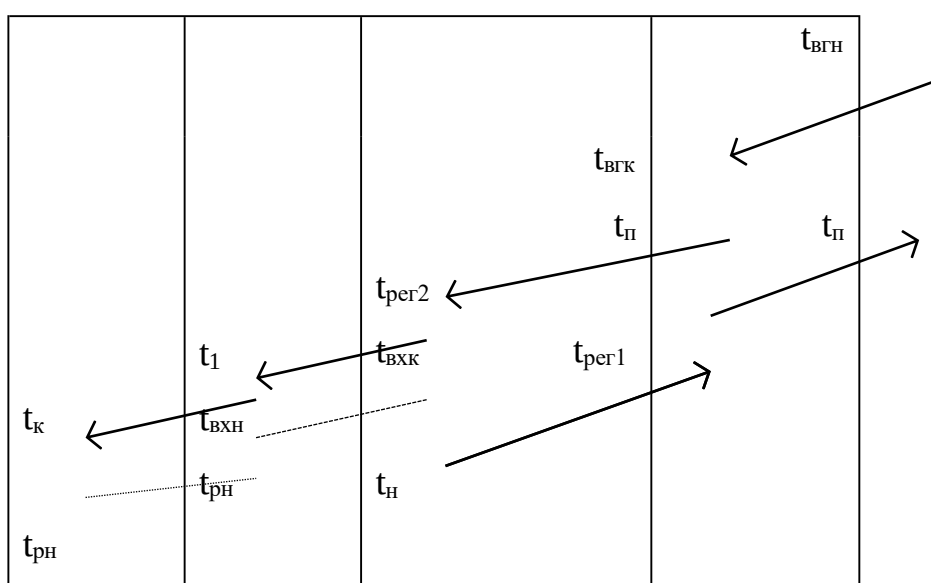
4. Указание по технике безопасности

При проведении замеров соблюдать осторожность, не допускать падение узлов и деталей пастеризационно-охладительной установки.

5. Методика и порядок выполнения работы

Порядок выполнения задания:

1. Приводится описание пастеризационно-охладительных установок, их назначение, преимущества и недостатки, перечисляется оборудование, входящее в комплект установки, и указывается его назначение.
2. Составляется график температур.



3. Определяются недостающие температуры

- температура сырья на выходе из секции регенерации при подогреве ($t_{\text{рег1}}$),
- температура сырья на выходе из секции регенерации при охлаждении ($t_{\text{рег2}}$),
- температура сырья при выходе из секции охлаждения водой (t_1)
- температура воды горячей конечная ($t_{\text{ВГК}}$),
- температура холодной воды конечная ($t_{\text{ВХК}}$),
- температура рассола конечная ($t_{\text{рк}}$).

Данные для расчета

1. Производительность установки:
2. Вид сырья:
3. Сухие вещества сырья, %

4. Начальная температура сырья (t_n), °C
5. Температура пастеризации (t_{π}), °C
6. Конечная температура сырья (t_k), °C
7. Теплоемкость сырья -
8. Теплоноситель - горячая вода
9. Начальная температура горячей воды ($t_{вгн}$), °C
10. Хладагент - холодная вода и рассол
11. Начальная температура холодной воды ($t_{вхн}$), °C
12. Начальная температура рассола ($t_{рн}$), °C

Температура сырья на выходе из секции регенерации ($t_{рег1}$) рассчитывается на основании коэффициента регенерации ($K_{рег}$), который представляет собой отношение количества тепла, отданного холодному сырью горячим в секции регенерации ($Q_{рег}$), к общему количеству тепла (Q_{π}), необходимому для нагрева сырья от начальной температуры до температуры пастеризации

$$K_{рег} = \frac{Q_{рег}}{Q_{\pi}} = \frac{G \cdot c \cdot (t_{рег} - t_n)}{G \cdot c \cdot (t_{\pi} - t_n)} = \frac{t_{рег} - t_n}{t_{\pi} - t_n}$$

где $Q_{рег}$ - количество тепла, воспринятое холодным сыром в секции регенерации, Дж; Q_{π} - количество тепла, необходимое для пастеризации сырья, Дж; G - производительность аппарата, кг/ч; c - удельная теплоемкость сырья, Дж/кг · град.

Каждому теплообменному аппарату соответствует свой коэффициент регенерации, который колеблется в пределах от 0,6 до 0,82. Принимаем коэффициент регенерации в установленных пределах и определяем температуру сырья на выходе из секции регенерации ($t_{рег}$)

$$t_{рег1} = t_n + K_{рег} \cdot (t_{\pi} - t_n)$$

Температура пастеризованного сырья на выходе из секции регенерации ($t_{рег2}$) определяется из уравнения теплового баланса в секции регенерации:

$$G_1 \cdot c \cdot (t_{рег1} - t_n) = G_2 \cdot c \cdot (t_{\pi} - t_{рег2})$$

G_1 может быть равен G_2 (как в нашем варианте), а может быть и не равен ему. Для нашего варианта при равенстве G и теплоемкости уравнение примет вид:

$$t_{\text{рег1}} - t_{\text{н}} = t_{\text{п}} - t_{\text{рег2}}$$

Температура конечная для горячей воды определяется также из уравнения теплового баланса в секции пастеризации:

$$G \cdot c \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{рег}}) = G_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{вГН}} - t_{\text{вГК}})$$

Отношение $G_{\text{в}}/G = n$ называется кратностью воды и принимается равным 3-4. Отсюда $G_{\text{в}} = G \cdot n$. Подставив это значение в формулу материального баланса, легко найдем конечную температуру горячей воды:

$$t_{\text{вГК}} = t_{\text{вГН}} - (c/(n \cdot c_{\text{в}})) \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{рег}})$$

Конечные температуры воды холодной и рассола рассчитываются аналогично из формул теплового баланса в секции охлаждения холодной водой и рассолом.

$$t_{\text{вХК}} = t_{\text{вН}} + (c/(n \cdot c_{\text{в}})) \cdot (t'_{\text{рег}} - t_1)$$

Кратность для холодной воды принять равной 3, температуру на выходе молока из секции охлаждения водой принять равной на 2-3 градуса выше начальной температуры холодной воды.

$$t_{\text{рК}} = t_{\text{рН}} + (c/(n \cdot c_{\text{р}})) \cdot (t_1 - t_{\text{к}})$$

Кратность для рассола принять равной 2.

4. Рассчитать поверхность нагрева для каждой секции по формуле:

$$F_c = \frac{G \cdot c \cdot (t_k - t_n)}{K \cdot \nabla T} \text{ м}^2$$

где F_c - поверхность нагрева секции, м²,

G - производительность аппарата, кг/с;

c - удельная теплоемкость сырья, Дж/ кг · град;

K - коэффициент теплопередачи, Вт/м² · град (для пластинчатых теплообменников он равняется 2000 - 2500, Вт/ м² · град);

∇T - средняя логарифмическая разность температур секции.

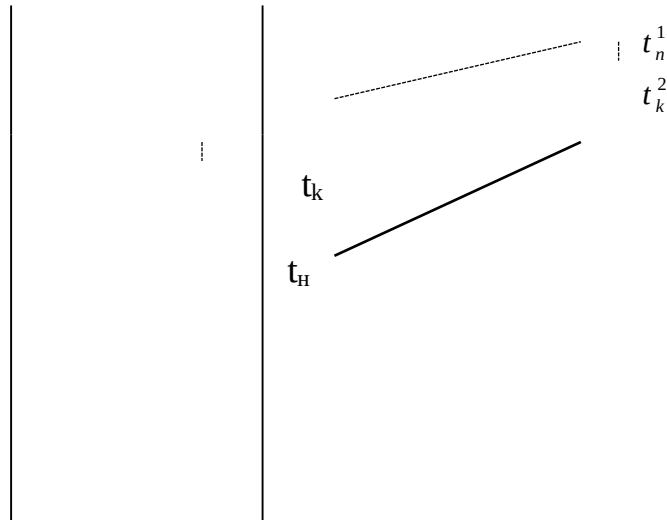
Среднюю логарифмическую разность температур для каждой секции можно рассчитать по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mathcal{M}}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mathcal{M}}}}$$

где Δt_{δ} - большая разность температур между теплоносителем и продуктом;

$\Delta t_{\mathcal{M}}$ - малая разность температур между теплоносителем и продуктом.

Пример расчета разности температур показан ниже.



$$\Delta t_{\delta} = t_k - t_H ; \Delta t_{\mathcal{M}} = t_n^1 - t_k^2 .$$

5. Определить количество пластин в каждой секции:

$$n = \frac{F_c}{f} + 1$$

где f - теплопередающая поверхность одной пластины, м².

6. Рассчитать общую поверхность теплообменника и привести характеристику аппарата по полученным данным.

Общую поверхность теплообмена определяют по формуле:

$$F = F_{\Pi} + F_{\text{рег}} + F_{\text{во}} + F_{\text{по}} , \text{ м}^2 .$$

Расчетные данные представить в виде таблицы.

Показатели	Расчетные данные
Производительность, кг/ч	
Температура : 1. начальная сырья 2. пастеризации 3. конечная сырья	
Коэффициент регенерации	
Температура: горячей воды начальная холодной воды начальная рассола начальная	
Количество пластин в секциях пастеризации регенерации охлаждения водой охлаждения рассолом	
Общая поверхность теплообмена, м ²	

В дальнейшем по этим данным можно подобрать необходимую охлаждающе - пастеризационную установку, которые выпускаются серийно.

7. Рассчитать потребность в тепле для пастеризации сырья, холоде - для его охлаждения согласно индивидуальному заданию. Оценить экономию тепла и холода при использовании пастеризационно - охлаждающей установки.

7. Контрольные вопросы и защита работы

1. Дайте описание конструкции теплообменной пластины.

2. Что представляет собой симметричная, однопакетная и разнопакетная компоновка пластин?
3. Как составляется формула компоновки?
4. Какое критериальное уравнение используется для расчета процесса теплоотдачи в пластинчатом теплообменнике?
5. Запишите уравнение для определения коэффициента теплопередачи для плоской стенки.
6. Как конструкция пластин влияет на интенсификацию процесса теплопередачи?
7. Чем отличаются ПОУ для питьевого молока, сливок, для производства кисломолочных напитков, смесей мороженого?
8. Каково назначение выдерживателя?
9. Как обеспечивается герметичность теплообменника?
10. Укажите пути совершенствования пластинчатых теплообменников.

Индивидуальные задания для расчетов

Производ. т/ч	Вид сырья	С.В., %	t_n , °C	t_n , °C	t_k , °C	c , Дж/кг · град	$t_{вгн}$, °C	$t_{вхн}$, °C	$t_{рн}$, °C
25	Буль. Костн .	0,2	10	85	5	4063	92	15	-2
5	то же	0,3	9	85	5	4031	90	12	-5
15	то же	0,4	8	85	5	3964	93	14	-4
10	то же	0,5	7	85	5	3921	91	13	-2
15	то же	0,6	6	85	5	3856	94	12	-3
10	молоко обезж	9,0	5	92	5	3935	98	14	-6
15	мол. сывор	6,0	4	75	5	4074	85	13	-5
5	плазма крови	10,0	5	75	5	3955	83	15	-4
5	барда паточ	10,0	10	85	5	3950	95	16	-5
25	хлор. Кальц	5,0	7	90	5	3902	97	15	-4
15	то же	7,0	8	90	5	3764	97	14	-3
10	то же	10,0	9	90	5	3563	96	14	-5

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7. РАСЧЕТ ФЕРМЕНТАТОРОВ С МЕХАНИЧЕСКОЙ МЕШАЛКОЙ. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ФЕРМЕНТАТОРА

1. Цель и содержание

Познакомиться с устройством емкостных аппаратов, перемешивающими устройствами таких аппаратов и основными конструктивными расчетами аппаратов и перемешивающих устройств на примере расчета ферментатора по заданному рабочему объему.

2. Теоретическое обоснование

Аппараты с механическими перемешивающими устройствами широко применяются в микробиологической промышленности. В них проводится приготовление растворов, их нейтрализация и подкисление, приготовление суспензий и эмульсий, приготовление питательных сред, их стерилизация, выращивание микроорганизмов и т.п. Они могут быть в вертикальном или горизонтальном исполнении. Вертикальные цилиндрические аппараты выпускаются объемами от 0,01 до 100 м³ и внутренним диаметром от 250 до 5000 мм. Они предназначены для проведения физико-химических процессов в жидких средах с динамической вязкостью не более 500 Па · с и плотностью до 2000 кг / м³, давление в аппаратах не ниже 0,67 Па и не выше 6,4 МПа. Выпускаются аппараты 10 типов, различающихся формой днищ и крышек. Они могут быть эллиптическими, коническими с различными углами конуса, плоскими, сферическими. Основные размеры аппаратов должны соответствовать требованиям ГОСТа. Внутренний диаметр аппарата, изготовляемого из стальных листов, следует выбирать из ряда (мм): 400; (450); 500; (550); 600; (650); 700; 800; 900; 1000; (1100); 1200; (1300); 1400; (1500); 1600; (1700); 1800; (1900); 2000; 2200; 2400; 2500; 2600; 2800; 3000; 3200; 3400; 3600; 3800; 4000; 4500; 5000; 5600; 6300; 7000; 7500; 8000; 8500; 9000; 9500; 10000; 11000; 12000; 14000; 16000; 18000; 20000. Размеры, заключенные в скобках, допускается применять лишь для обогревающих или охлаждающих

рубашек сосудов и аппаратов. Соотношение основных размеров для аппаратов типа ВЭП приведены в приложении В.

Механические перемешивающие устройства состоят из трех основных частей: мешалки; вертикального, горизонтального или наклонного вала, на котором закреплена мешалка, и электропривод. В зависимости от частоты вращения они подразделяются на быстроходные (частота вращения до 40 с^{-1}) и тихоходные (частота вращения не более 1 с^{-1}). К тихоходным относятся лопастные, рамные, якорные мешалки, к быстроходным - турбинные и винтовые. Типы и размеры перемешивающих устройств для вертикальных аппаратов определены в ГОСТ 20680-75. Требования ГОСТа для основных типов перемешивающих устройств приведены в приложении Б.

3. Указание по технике безопасности

При проведении замеров соблюдать осторожность, не допускать падение узлов и деталей насосов.

4. Методика и порядок выполнения работы

Каждый студент выполняет расчеты самостоятельно в соответствии с индивидуальным заданием.

Перед проведением расчетов устанавливают объемную массу питательной среды, ρ динамическую вязкость, μ коэффициент теплопроводности, λ рабочее давление в ферментаторе при стерилизации его паром, теплоемкость c . При расчетах можно воспользоваться данными ВНИИбиотехники: объемная масса питательных сред находится в пределах $\rho = 1060-1070 \text{ кг/м}^3$, динамическая вязкость в пределах $\mu = 0,001...0,00155 \text{ Па} \cdot \text{с}$, теплоемкость принимают равной $c = 4186 \text{ Дж/ (кг} \cdot \text{K)}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,6 \text{ Вт/ (м} \cdot \text{K)}$.

Для стерилизации питательной среды внутри ферментатора необходимо создать рабочее давление не менее $0,2 \text{ МПа}$. Коэффициент заполнения аппарата зависит от состава среды и вида выращиваемого организма $k = 0,5...0,65$.

Конструктивный расчет ферментатора. Рабочий объем аппарата V_p рассчитывается по формуле:

$$V_p = V_{общ} \cdot k, \text{ м}^3 \quad (1)$$

Внутренний диаметр ферментатора ($D_{вн}$) зависит от его номинального объема и при выборе диаметра можно ориентироваться данными приложения В.

Высота эллиптической части аппарата:

$$h_{эл} = 0,25 \cdot D_{вн}, \text{ м} \quad (2)$$

Высоту отбортовки цилиндрической части можно принять равной 25 мм.

Полный объем ферментатора V_n вычисляют по формуле:

$$V_n = V_{общ} + 2 V_{дн}, \text{ м}^3 \quad (3)$$

где $V_{дн}$ - емкость днища. Объем эллиптической части днища рассчитывают по формуле: $V_{дн} = 4 / 3 \cdot \pi \cdot a \cdot б^2$, м^3 , где a - высота эллиптической части ($h_{эл}$); $б$ - радиус цилиндрической части.

Площадь сечения аппарата по внутреннему диаметру можно определить по формуле:

$$F = 0,785 \cdot D_{вн}^2, \text{ м}^2 \quad (4)$$

Высота цилиндрической части ферментатора рассчитывается по формуле:

$$H_{ц} = (V_n - 2 \cdot V_{дн}) / F, \text{ м} \quad (5)$$

Общая высота аппарата, м:

$$H_{общ} = H_{ц} + 2 \cdot (h_{эл} + h), \text{ м}. \quad (6)$$

Пример. Рассчитать конструктивные параметры ферментатора с механической мешалкой и барботером объемом 10 м^3 .

При расчете принимаем:

- объемная масса питательной среды - $\rho = 1065 \text{ кг/м}^3$;
- динамическая вязкость $\mu = 0,002 \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- рабочее давление при стерилизации $p = 200 \text{ Па}$;
- коэффициент заполнения $\kappa = 0,6$.

Конструктивный расчет ферментатора

Принимаем аппарат с эллиптическими днищами вертикального типа. Общий объем аппарата рассчитываем по формуле (1).

$$V_{\text{общ}} = V_p / \kappa$$

$$V_{\text{общ}} = 10 / 0,6 = 16,7 \text{ м}^3.$$

Внутренний диаметр ферментатора принимаем 2000 мм. Высоту эллиптической части днищ определяем по формуле (2):

$$h_{\text{эл}} = 0,25 \cdot 2000 = 500 \text{ мм}.$$

Толщину стенки днища принимаем $S = 4 \text{ мм}$. Высоту отбортовки определяем по формуле:

$$h_{\text{от}} = 2 \cdot S.$$

$$h_{\text{от}} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ мм}.$$

Объем днища рассчитываем как объем шарового сектора по формуле:

$$V_{\text{дн}} = 2,094 \cdot R^2 \cdot h,$$

где R - радиус эллиптического сектора (определяем графическим методом); h - высота шарового сектора. Ориентировочно можно принять $h = 0,84 \cdot h_{\text{эл}}$.

$$V_{\text{дн}} = 2,094 \cdot 1,34^2 \cdot 0,84 \cdot 0,5 = 1,6 \text{ м}^3.$$

Площадь сечения по внутреннему диаметру определяем по формуле (4):

$$F = 0,785 \cdot 2^2 = 3,14 \text{ м}^2.$$

Высоту цилиндрической части аппарата рассчитываем по формуле (5):

$$H_{ц} = (16,7 - 2 \cdot 1,6) / 3,14 = 4,3 \text{ м}.$$

Общую высоту аппарата определяем по формуле (6)

$$H_{общ} = H_{ц} + 2 \cdot (h_{от} + h) = 4,3 + 2 \cdot (0,008 + 0,420) = 5,2 \text{ м}.$$

6 Содержание отчета и его форма

5. Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется в специальной тетради или листах формата А4. В отчете указывается цель и содержание работы, аппаратура и материалы, а также выполняются все задания, предусмотренные настоящими методическими указаниями.

6. Контрольные вопросы и защита работы

1. Как можно классифицировать емкостное оборудование?
2. С какой целью используют горизонтальные емкости?
3. В каких условиях используют вертикальные емкости?
4. Как устроены горизонтальные емкости для хранения?
5. Как устроены и работают емкости большой вместимости?
6. Что такое универсальные емкости?

Индивидуальные задания

№№ п / п	Рабочий объем аппарата, м ³	Характеристика питательной среды	
		динамическая вязкость, Па · с	ПЛОТНОСТЬ, кг / м ³
1	0,5	0,00100	1070
2	1,1	0,00115	1065
3	1,7	0,00120	1060
4	2,3	0,00125	1055
5	2,9	0,00130	1050
6	3,5	0,00135	1045
7	4,1	0,00140	1040
8	4,7	0,00145	1035
9	5,3	0,00150	1030
10	5,9	0,00155	1070
11	6,5	0,00100	1065
12	7,3	0,00115	1060
13	7,9	0,00120	1055
14	8,5	0,00125	1050
15	9,1	0,00130	1045
16	9,7	0,00135	1040
17	10,3	0,00140	1035
18	10,9	0,00145	1030
19	11,5	0,00150	1070
20	12,1	0,00155	1065
21	12,7	0,00115	1060
22	13,3	0,00120	1055
23	13,9	0,00125	1050
24	14,5	0,00130	1045

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №8. РАСЧЕТ ФЕРМЕНТАТОРОВ С МЕХАНИЧЕСКОЙ МЕШАЛКОЙ. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОЙ МЕШАЛКИ ФЕРМЕНТАТОРА

1. Цель и содержание

Познакомиться с устройством емкостных аппаратов, перемешивающими устройствами таких аппаратов и основными конструктивными расчетами аппаратов и перемешивающих устройств на примере расчета ферментатора по заданному рабочему объему.

2. Теоретическое обоснование

Аппараты с механическими перемешивающими устройствами широко применяются в микробиологической промышленности. В них проводится приготовление растворов, их нейтрализация и подкисление, приготовление суспензий и эмульсий, приготовление питательных сред, их стерилизация, выращивание микроорганизмов и т.п. Они могут быть в вертикальном или горизонтальном исполнении. Вертикальные цилиндрические аппараты выпускаются объемами от 0,01 до 100 м³ и внутренним диаметром от 250 до 5000 мм. Они предназначены для проведения физико-химических процессов в жидких средах с динамической вязкостью не более 500 Па · с и плотностью до 2000 кг / м³, давление в аппаратах не ниже 0,67 Па и не выше 6,4 МПа. Выпускаются аппараты 10 типов, различающихся формой днищ и крышек. Они могут быть эллиптическими, коническими с различными углами конуса, плоскими, сферическими. Основные размеры аппаратов должны соответствовать требованиям ГОСТа. Внутренний диаметр аппарата, изготовляемого из стальных листов, следует выбирать из ряда (мм): 400; (450); 500; (550); 600; (650); 700; 800; 900; 1000; (1100); 1200; (1300); 1400; (1500); 1600; (1700); 1800; (1900); 2000; 2200; 2400; 2500; 2600; 2800; 3000; 3200; 3400; 3600; 3800; 4000; 4500; 5000; 5600; 6300; 7000; 7500; 8000; 8500; 9000; 9500; 10000; 11000; 12000; 14000; 16000; 18000; 20000. Размеры, заключенные в скобках, допускается применять лишь для обогревающих или охлаждающих

рубашек сосудов и аппаратов. Соотношение основных размеров для аппаратов типа ВЭП приведены в приложении В.

Механические перемешивающие устройства состоят из трех основных частей: мешалки; вертикального, горизонтального или наклонного вала, на котором закреплена мешалка, и электропривод. В зависимости от частоты вращения они подразделяются на быстроходные (частота вращения до 40 с^{-1}) и тихоходные (частота вращения не более 1 с^{-1}). К тихоходным относятся лопастные, рамные, якорные мешалки, к быстроходным - турбинные и винтовые. Типы и размеры перемешивающих устройств для вертикальных аппаратов определены в ГОСТ 20680-75. Требования ГОСТа для основных типов перемешивающих устройств приведены в приложении Б.

3. Указание по технике безопасности

При проведении замеров соблюдать осторожность, не допускать падение узлов и деталей насосов.

4. Методика и порядок выполнения работы

Каждый студент выполняет расчеты самостоятельно в соответствии с индивидуальным заданием.

Перед проведением расчетов устанавливают объемную массу питательной среды, ρ динамическую вязкость, μ коэффициент теплопроводности, λ рабочее давление в ферментаторе при стерилизации его паром, теплоемкость c . При расчетах можно воспользоваться данными ВНИИбиотехники: объемная масса питательных сред находится в пределах $\rho = 1060-1070 \text{ кг/м}^3$, динамическая вязкость в пределах $\mu = 0,001...0,00155 \text{ Па} \cdot \text{с}$, теплоемкость принимают равной $c = 4186 \text{ Дж/ (кг} \cdot \text{K)}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,6 \text{ Вт/ (м} \cdot \text{K)}$.

Для стерилизации питательной среды внутри ферментатора необходимо создать рабочее давление не менее $0,2 \text{ МПа}$. Коэффициент заполнения аппарата зависит от состава среды и вида выращиваемого организма $k = 0,5...0,65$.

Расчет механической мешалки ферментатора. Для перемешивания питательных сред в период роста микроорганизмов используют различные перемешивающие устройства: лопастные, якорные, рамные, турбинные, пропеллерные. Вследствие нарастания биомассы повышается вязкость культуральной жидкости, ухудшается перемешивание и аэрирование среды. Для интенсификации перемешивания суспензий рекомендуется применять турбинные мешалки.

Диаметр турбинной мешалки рассчитывается по формуле:

$$d_m = (0,3...0,33) \cdot D_{вн}, \text{ м} \quad (7)$$

где $D_{вн}$ - внутренний диаметр ферментатора, м.

По полученной величине d_m по каталогам выбирают мешалку с эффективной системой перемешивания. Характеристика перемешивающих устройств приведена в таблице 1 приложения А.

Определяем частоту вращения мешалки по формуле:

$$n_1 = \frac{\omega}{\pi \cdot d_m}, \text{ с}^{-1}. \quad (8)$$

По полученной частоте вращения мешалки принимаем её фактическую скорость.

По принятой величине частоты вращения мешалки по каталогу НИИХиммаша выбирают редуктор.

Рассчитываем потребляемую мешалкой мощность для перемешивания растущей культуры без учета влияния вспомогательных устройств:

$$N_m = K_n \cdot \rho_c \cdot n_m^3 \cdot d_m^5, \text{ Вт}; \quad (9)$$

где K_n - критерий мощности, зависящий от интенсивности перемешивания и характеризующийся центробежным критерием Рейнольдса (Re_y); ρ_c - плотность среды, кг/м³; n - частота вращения мешалки с⁻¹; d_m - диаметр мешалки, м.

Критерий Рейнольдса можно рассчитать по формуле :

$$Re_y = \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu} \quad (10)$$

где μ_c - динамическая вязкость среды, Па · с.

По зависимости критерия мощности N_m от Re_y для выбранного типа мешалок находим его значение (Стабников В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств. -М.: Пищевая промышленность, 1976. С. 127-130).

Расчетную мощность на валу мешалки рассчитываем по формуле:

$$N_p = k_1 \cdot k_2 \cdot (\sum k + 1) \cdot N_m, \text{ Вт}; \quad (11)$$

где k_1 - коэффициент заполнения аппарата растущей культурой; k_2 - коэффициент, учитывающий увеличение потребляемой мощности из-за повышения сопротивления растущей культуры в процессе её роста ($k_2 = 1,1$);

$\sum k$ - коэффициент, учитывающий увеличение потребляемой мощности на преодоление сопротивления, вызываемого вспомогательными устройствами.

$$\sum k = k_n + k_m + k_{mp} + k_m, \quad (12)$$

где k_n - коэффициент сопротивления отражательных перегородок; k_m - коэффициент сопротивления дополнительной мешалки; k_{mp} - коэффициент сопротивления трубы для подвода воздуха; k_m - коэффициент сопротивления

гильзы для термометра. Значения этих коэффициентов приведены в таблице 2 (приложение А).

Мощность на преодоление трения в сальнике вала рассчитывают по формуле:

$$N_c = 2n \cdot d_g^2 \cdot S_c \cdot p \cdot (e^{0,1 \cdot \frac{h_c}{S_c}} - 1), \text{ Вт} \quad (13)$$

где n - частота вращения вала мешалки, с^{-1} ; d_g - диаметр вала, м; S_c - толщина набивки сальника вала, м; p - рабочее давление воздуха в аппарате над уровнем жидкости, Па; h_c - высота набивки сальника, м (можно принять

$$h_c = 6 \cdot S_c).$$

Диаметр приводного вала мешалки определяют по формуле:

$$d_b = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{\tau_{дон}}} + c_m, \text{ мм} \quad (14)$$

где $M_{кр}$ - крутящий момент на валу мешалки, $\text{Н} \cdot \text{м}$; $\tau_{дон}$ - допускаемое напряжение для материала вала на кручение, $\text{Н} / \text{мм}^2$; c_m - поправка на коррозию, эрозию и износ материала, мм.

Крутящий момент на валу мешалки равен:

$$M_{кр} = \frac{0,163 \cdot N_p}{n}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (15)$$

где N_p - передаваемая расчетная мощность на валу, Вт; n - запас прочности. Для обеспечения жесткости вала расчетную величину d_g умножают на коэффициент 1,25.

$$d'_\epsilon = 1,25 \cdot d_\epsilon, \text{ м} \quad (16)$$

Диаметр вала выше нижней турбинки:

$$d''_\epsilon = 1,07 \cdot d'_\epsilon, \text{ м} \quad (17)$$

Диаметр вала на участке выше верхней турбинки при проходе через сальник:

$$d'''_\epsilon = 1,14 \cdot d'_\epsilon, \text{ м} \quad (18)$$

Валы обычно изготавливают из стали Ст.45. Предел прочности для Ст.45 на растяжение $\sigma_\epsilon = 610 \text{ Н / мм}^2$ (около 62 кг/мм²), запас прочности $n_\epsilon = 2,6$. Допустимое напряжение на растяжение вычисляют по формуле:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_\epsilon}{n_\epsilon}, \text{ Н / мм}^2 \quad (19)$$

Допустимое напряжение на кручение:

$$[\tau] = 0,6 \cdot [\delta], \text{ Н / мм}^2 \quad (20)$$

Допустимое напряжение для валов перемешивающих устройств:

$$[\tau'] = 0,5 \cdot [\tau], \text{ Н / мм}^2 \quad (21)$$

Толщина сальниковой набивки, м:

$$S_c = 0,044 \cdot \sqrt{d''_\epsilon} \quad (22)$$

Расчетная сила сжатия набивки, Н:

$$p'_c = \pi \cdot (d''_в + S_c) \cdot S_c \cdot p \cdot e^{0,04 \cdot \frac{h_c}{S_c}}, \text{ Н} \quad (23)$$

где p - допустимое давление в аппарате при стерилизации, Па.

Окончательно установленную мощность приводного электродвигателя мешалки вычисляют по формуле:

$$N_{\text{уст}} = 1,15 \cdot (N_p + N_c) / \eta, \text{ Вт} \quad (24)$$

где η - КПД редуктора привода.

По расчетным данным составляется характеристика ферментатора.

Пример. Рассчитать конструктивные параметры ферментатора с механической мешалкой и барботером объемом 10 м³.

При расчете принимаем:

- объемная масса питательной среды - $\rho = 1065 \text{ кг/м}^3$;
- динамическая вязкость $\mu = 0,002 \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- рабочее давление при стерилизации $p = 200 \text{ Па}$;
- коэффициент заполнения $\kappa = 0,6$.

$$H_{\text{ш}} = (16,7 - 2 \cdot 1,6) / 3,14 = 4,3 \text{ м.}$$

Расчет механической мешалки

Диаметр турбинной мешалки определяем по формуле (7):

$$d_m = 0,3 \cdot 2,0 = 0,6 \text{ м.}$$

По таблице 3 (приложение 2) выбираем стандартное значение диаметра мешалки $d_m = 0,63 \text{ м.}$

Частоту вращения мешалки определяем по формуле (8):

$$n = 7 / 3,14 \cdot 0,63 = 3,5 \text{ с}^{-1}.$$

Потребляемую мешалкой мощность для перемешивания растущей культуры определяем по формуле (9), предварительно, для определения критерия мощности, рассчитав критерий Рейнольдса по формуле (10):

$$Re_u = (1065 \cdot 3,5 \cdot 0,63^2) / 0,0015 = 986296,5$$

По зависимости критерия мощности от Re_u для нашего типа мешалок находим его значение

$$\kappa_n = 1,8.$$

$$N_m = 1,8 \cdot 1065 \cdot 3,5^3 \cdot 0,63^5 = 8141,7 \text{ Вт} = 8,14 \text{ кВт}$$

Расчетную мощность на валу определяем по формуле (11), предварительно рассчитав сумму коэффициентов по формуле (12):

$$\sum k = 1,5 + 0,2 + 0,1 = 1,8$$

$$N_p = 0,6 \cdot 1,1 \cdot (1,8 + 1) \cdot 8,14 = 15,5 \text{ кВт}$$

Крутящий момент на валу мешалки рассчитываем по формуле (14):

$$M_{кр} = 0,163 \cdot 15500 \cdot 1,8 = 4547,7 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ или } 4547,7 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Допустимое напряжение на растяжение определяем по формуле (19):

$$[\sigma] = 610 / 2,6 = 234,62 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Допустимое напряжение на кручение определяем по формуле (20):

$$[\tau] = 234,62 \cdot 0,6 = 140,77 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Допустимое напряжение на кручение для валов перемешивающих устройств определяем по формуле (21):

$$[\tau_{доп}] = 140,77 \cdot 0,5 = 70,38 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Диаметр вала рассчитываем по формуле (13):

$$d_g = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{4547,7 \cdot 10^3}{70,38}} = 68,62 \text{ мм}$$

Диаметр вала с учетом коэффициента жесткости определяют по формуле (15):

$$d'_b = 1,25 \cdot 68,62 = 85,77 \text{ мм}$$

Диаметр вала выше нижней турбинки определяем по формуле (16):

$$d''_b = 1,07 \cdot 85,77 = 91,71 \text{ мм.}$$

Диаметр вала выше верхней турбинки определяем по формуле (17):

$$d'''_b = 1,14 \cdot 91,71 = 104,6 \text{ мм}$$

Толщину сальниковой набивки определяем по формуле (21):

$$S_c = 0,044 \cdot \sqrt{0,0197} = 0,0062 \text{ м.}$$

Высоту сальниковой набивки определяем по формуле (22):

$$h_c = 6 \cdot 6,2 = 37,1 \text{ мм.}$$

Расчетную силу сжатия набивки определяем по формуле (23):

$$p_c = 3,14 \cdot (0,0197 + 0,0062) \cdot 0,0062 \cdot 200 \cdot 2,73^{0,04 \cdot \frac{0,0371}{0,0062}} = 1,28 \text{ Н}$$

Мощность на преодоление силы трения в сальнике определяем по формуле (13):

$$N_c = 2 \cdot 3,5 \cdot 0,63^2 \cdot 0,0062 \cdot 200 \cdot (2,73^{0,1 \cdot \frac{0,0366}{0,0062}} - 1) = 2,79 \text{ Вт.}$$

Установленную мощность электропривода мешалки рассчитывают по формуле (14) :

$$N_{уст} = 1,15 \cdot (15,5 + 0,003) / 0,9 = 19,8 \text{ кВт.}$$

Контрольные вопросы и защита работы

1. Что такое перемешивание?
2. Какова цель процесса перемешивания?
3. Назовите основные параметры процесса перемешивания.
4. Какие виды перемешивания вы знаете?
5. Перечислите недостатки и достоинства механических мешалок?
6. В чем заключается циркуляционное перемешивание?
7. В чем заключается пневматическое перемешивание?
8. В чем заключается поточное перемешивание?

Индивидуальные задания

№№ п / п	Рабочий объем аппарата, м ³	Характеристика питательной среды	
		динамическая вязкость, Па · с	ПЛОТНОСТЬ, кг / м ³
1	0,5	0,00100	1070
2	1,1	0,00115	1065
3	1,7	0,00120	1060
4	2,3	0,00125	1055
5	2,9	0,00130	1050
6	3,5	0,00135	1045
7	4,1	0,00140	1040
8	4,7	0,00145	1035
9	5,3	0,00150	1030
10	5,9	0,00155	1070
11	6,5	0,00100	1065
12	7,3	0,00115	1060
13	7,9	0,00120	1055
14	8,5	0,00125	1050
15	9,1	0,00130	1045
16	9,7	0,00135	1040
17	10,3	0,00140	1035
18	10,9	0,00145	1030
19	11,5	0,00150	1070
20	12,1	0,00155	1065
21	12,7	0,00115	1060
22	13,3	0,00120	1055
23	13,9	0,00125	1050
24	14,5	0,00130	1045

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №9. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВОГО ОСАЖДЕНИЯ БЕЛКОВ

1. Цель и содержание работы

Изучить технологические процессы и аппаратное оформление процессов фракционирования молочного сырья при получении белковых концентратов; исследовать закономерности осаждения белков молочного сырья физико-химическими методами; исследовать состав белковых концентратов и осветленной сыворотки, оценить эффективность выделения белков из обезжиренного молока исследованными методами.

2. Теоретическое обоснование

Основной белок молока – казеин составляет 78 – 85 % всех белковых веществ. В молоке он находится в виде казеинаткальцийфосфатного комплекса (ККФК) в коллоидно-дисперсном состоянии, в состав которого помимо казеина (88,2 %) входят кальций (3,41 %), фосфор (0,89 %), магний (0,24 %), калий и натрий (0,45 %), лимонная кислота (0,87 %). В казеине молока насчитывается 17 фракций, которые изменяются при нагревании и концентрировании молока.

Сывороточные белки молока составляют 14 – 24 % общей массы всех белков. Они характеризуются высокой степенью дисперсности и гидратации, образуют устойчивые гидрозоли, не осаждающиеся даже в изоэлектрической точке (ИЭТ). Массовые доли отдельных фракций колеблются в следующих пределах: β -лактоглобулин – 43 – 67 %, α -лактальбумин – 17 – 21 %, иммуноглобулины – 10 – 18 %, сывороточный альбумин – 2 – 5 %.

Белки молока наиболее быстро перевариваются ферментами желудочного сока – пепсином и трипсином. Они обладают и другой важной особенностью – при добавлении их в продукты питания растительного происхождения (хлеб, макароны, крупы и т. п.) усвояемость этих продуктов значительно повышается. Это объясняется наличием в белке молока легко усвояемых веществ: кальция, фосфора, калия, магния. В альбумине молока содержится в значительных количествах триптофан, который совместно с лизином и никотиновой кислотой

участвует в развитии костной и мышечной ткани. Глобулин молока является носителем иммунных тел и антибиотических свойств. Для нормальной деятельности нервной системы необходим валин, для роста и развития организма – лейцин и изолейцин.

Биологические функции белков молока многообразны. Казеины являются основными пищевыми белками. Они максимально расщепляются пищеварительными протеиназами в нативном состоянии, в то время как глобулярные белки приобретают эту способность обычно только после денатурации. Казеины обладают свойством свертываться в желудке новорожденного с образованием сгустков высокой степени дисперсности. Кроме того, они являются источником физиологически активных олиго- и полипептидов.

Не менее важными биологическими функциями обладают сывороточные белки. Так, иммуноглобулины выполняют защитную функцию, являясь носителями пассивного иммунитета, лактоферрин и другой белок – лизоцим, относящийся к ферментам молока, обладают антибактериальными свойствами. Лактоферрин, а возможно, и β -лактоглобулин выполняют транспортную роль – переносят в кишечник новорожденного железо, витамины и другие важные соединения. Сывороточный белок α -лактальбумин имеет специфическую функцию: он необходим для процесса синтеза лактозы.

Продукты, получаемые на основе осаждения и фракционирования белков молочного сырья, получили название «молочно-белковые концентраты». Молочно-белковые концентраты получают из обезжиренного молока или сыворотки путем удаления воды, минеральных веществ и лактозы, а также путем одновременного концентрирования белков. В зависимости от массовой доли сухих веществ молочно-белковые концентраты подразделяют на жидкие и пастообразные, сухие. Кроме того, внутри каждой группы молочно-белковые концентраты делят по виду белка и растворимости в воде. Систематизированный перечень видов молочно-белковых концентратов с указанием массовой доли белка и сухих веществ изложен в таблице 3. 1.

Таблица 1 – Ассортимент молочно-белковых концентратов

Наименование продукта	Массовая доля, %	
	сухих веществ	белка
Казеин-сырец	35	32–35
Казеин технический:		
- кислотный	88	82–84
- сычужный	88	76–78
Казеин пищевой	88	82–84
Казеинат натрия	94	85–90
Казецит пищевой	94	80–83
Копреципитаты пищевые растворимые:		
- низкокальциевый	94	80–85
- высококальциевый	94	75–78
Концентрат молочно-белковый:		
- сухой	88	70
- в блоках	55	35

Казеин-сырец относят к классу нерастворимых, содержащих только казеин, жидким и пастообразным молочно-белковым концентратам; концентрат молочно-белковый в блоках представляет собой класс растворимых, содержащих казеин и сывороточные белки, жидких и пастообразных молочно-белковых концентратов.

Казеин пищевой, казеин технический и казеин сычужный являются нерастворимыми, содержащими только казеин, сухими молочно-белковыми концентратами. Казеинат натрия и казецит пищевой обычный – класс растворимых, содержащих только казеин, сухих молочно-белковых концентратов.

Копреципитаты пищевые растворимые и концентрат молочно-белковый сухой, которые содержат казеин и сывороточные белки, относят к классу растворимых сухих молочно-белковых концентратов.

Казеин получают кислотной (или сычужной) коагуляцией белков из обезжиренного молока, казеинаты – растворением кислотного казеина в гидроокисях или солях щелочных (или щелочноземельных) металлов, а копреципитаты – термокальциевой коагуляцией комплекса казеина и сывороточных белков из обезжиренного молока.

Кислотная коагуляция. Способ основан на снижении pH молока до изоэлектрической точки казеина путем введения кислоты. При установлении изоэлектрической точки (pH 4,6 – 4,7) казеин выделяется из молока.

Процесс кислотной коагуляции казеина (по Хеннингсену) представлен на рисунке 3. 1:

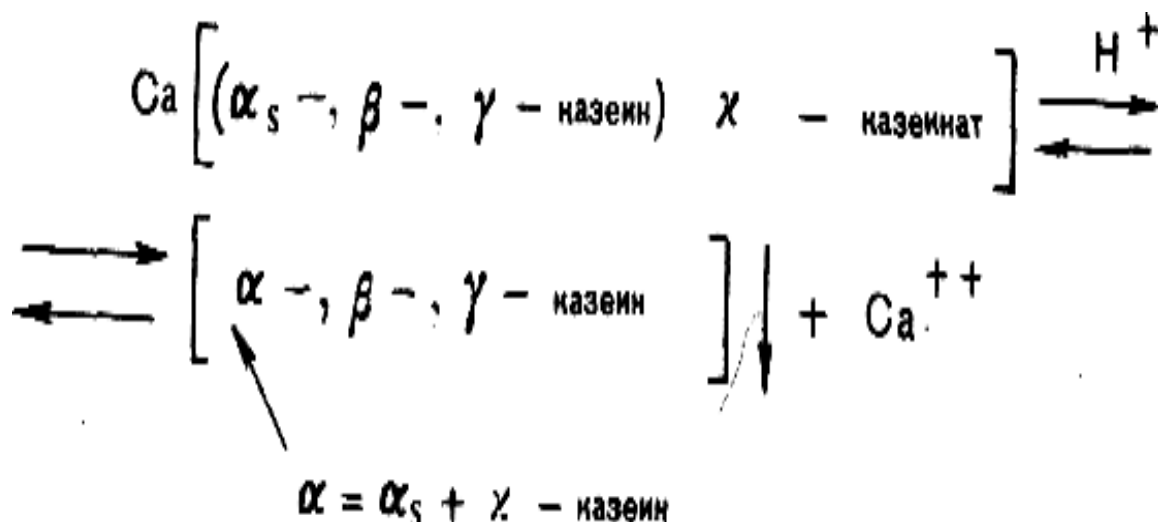


Рисунок 3. 1 – Схема кислотной коагуляции казеина.

В сыворотку переходят α -лактоальбумин, β -лактоглобулин и иммунные глобулины, а также другие белковые вещества, содержащиеся в молоке в минимальных количествах. Массовая доля белков в сыворотке 0,6 – 0,8 %.

Сычужная коагуляция. Механизм действия сычужного фермента на казеин схематично представлен на рисунке 3. 2.

При гидролитическом расщеплении фосфоамидной связи высвобождаются функциональные группы аргинина. Увеличение количества щелочных групп приводит к сдвигу изоэлектрической точки казеина с pH 4,6 – 4,7 до pH 5,0 – 5,2 и образованию параказеина.

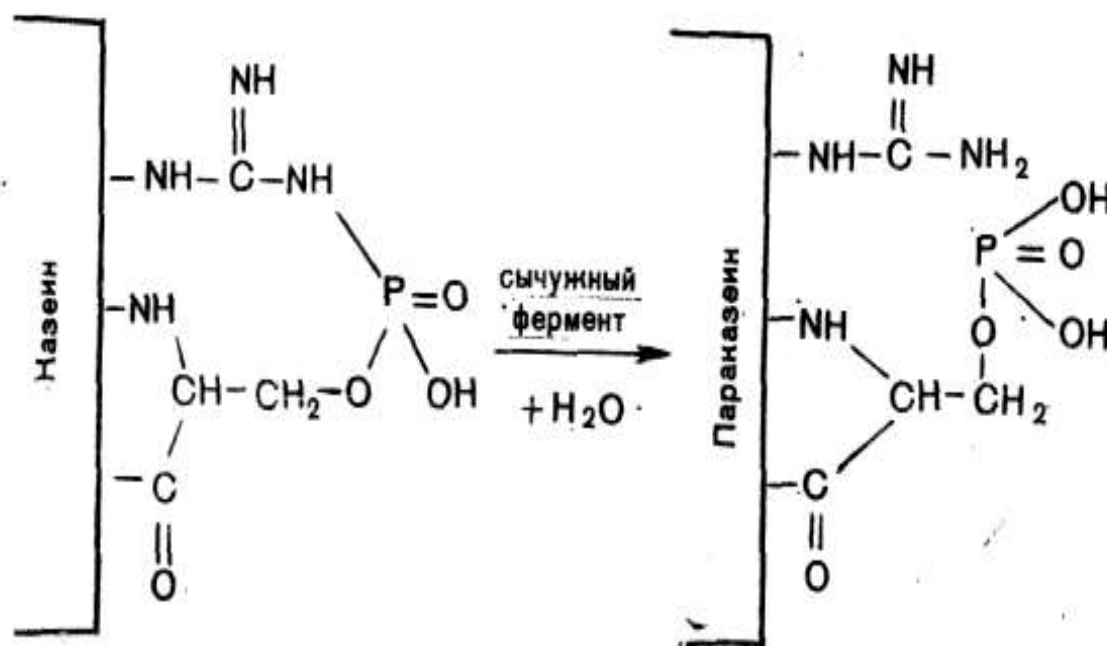


Рисунок 3. 2 – Механизм действия сычужного фермента на мицеллу казеина.

С другой стороны, гидроксильные группы фосфорной кислоты связывают ионы кальция и создают «кальциевые мостики» между частицами параказеина. При большом количестве «мостиков» образуется гель (рисунок 3.3).

Термокальциевая коагуляция. При введении в молоко хлористого кальция происходит химическое взаимодействие ионов кальция со свободными гидроксильными группами фосфорной кислоты, входящей в молекулу казеина, и катионный обмен между Н-ионами казеинового комплекса и Са-ионами раствора хлористого кальция. В результате катионного обмена казеинаткальцийфосфатный комплекс обогащается кальцием, высвобождение Н-ионов вызывает подкисление молока с pH 6,5 до pH 5,0, снижение устойчивости и агрегацию коллоидных частиц. При насыщении комплекса кальцием резко снижается его термоустойчивость.

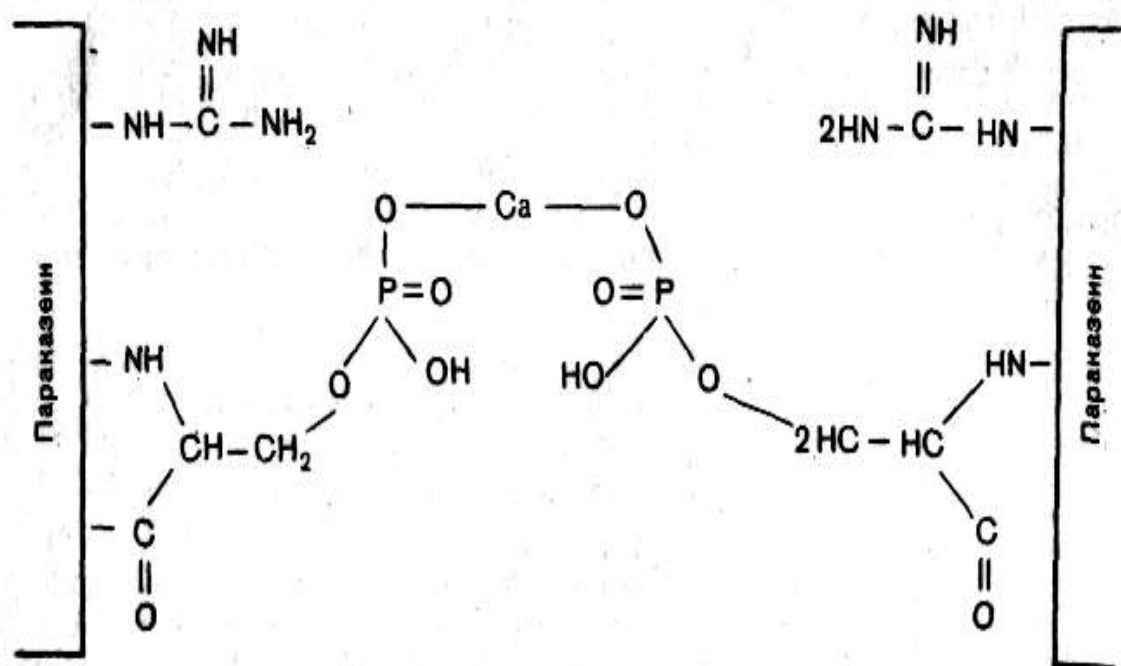


Рисунок 3. 3 – Схема образования «кальциевых мостиков».

Масса 1 – 1,5 г хлористого кальция в 1 л молока при нагревании до 95 – 97 °С приводит к полной коагуляции казеина. Одновременно с казеином коагулируют и термолабильные сывороточные белки (рисунок 3. 4).

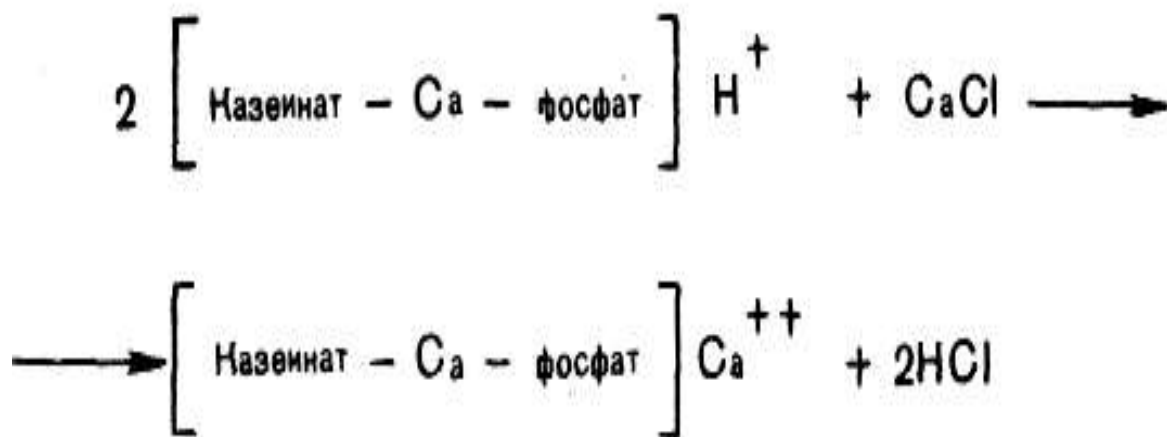


Рисунок 3. 4 – Механизм термокальциевой коагуляции белков молока.

При нагревании молока тепловая энергия вызывает структурные изменения в альбуминах и β -лактоглобулине вследствие разрыва связей побочной валентности и полимеризации SH-групп происходит образование комплекса между казеином и сывороточными белками, а затем под действием ионов кальция – их совместное осаждение.

Для проведения процесса осаждения казеина и сывороточных белков из молочного сырья используют емкостные аппараты открытого и закрытого типа, оснащенные теплообменными устройствам (рубашки, барботеры), мешалками и механическими приспособлениями для обработки (разрезки, вымешивания) белкового сгустка, системой отбора осветленной молочной сыворотки.

Осветленная (депротеинизированная) молочная сыворотка широко используется в биотехнологических производствах в качестве основы комплексных лактозосодержащих сред для культивирования микроорганизмов-продуцентов целевых продуктов.

3. Аппаратура и материалы.

Весы лабораторные, баня водяная, термостаты суховоздушные, колбы термостойкие емкостью 250 – 300 см³, мерные цилиндры на 250 и 500 см³, воронки, фильтры лавсановые, рефрактометр, рН-метр, прибор для определения массовой доли влаги в продуктах экспресс-методом (прибор Чижовой), титровальная установка, 0,1 н раствор гидроксида натрия, 40 %-й раствор формалина, 1 %-й спиртовой раствор фенолфталеина, 1 н раствор соляной кислоты, 40 %-й раствор хлорида кальция, 1 %-й раствор сычужного фермента.

4. Указания по технике безопасности

При выполнении исследований следует соблюдать общие правила техники безопасности, рассмотренные в методических указаниях к выполнению лабораторной работы 1. Особенное внимание следует уделить правилам работы с растворами кислот и щелочей, формалина. Перед началом работы с прибором Чижовой следует подробно ознакомиться с правилами его эксплуатации.

5. Методика и порядок выполнения работы

1. Для выполнения задания необходимо выполнить схемы емкостных аппаратов для коагуляции казеина и сывороточных белков молока, описать их устройство и принцип работы.

2. Для проведения исследований отбирают образцы обезжиренного молока объемом 250 – 300 см³. Отобранное для исследований молочное сырье учитывают по массе, определяют титруемую кислотность (приложение А), массовую долю сухих веществ рефрактометрическим методом, массовую долю белка методом формольного титрования (приложение Б). Обработку обезжиренного молока проводят по четырем вариантам.

1. Нагревают обезжиренное молоко до температуры $(36 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Вносят коагулянты: 1 н раствор соляной кислоты в количестве 4 % от объема сырья или кислую молочную сыворотку, сквашенную заквасками на чистых культурах болгарской или ацидофильной палочки до титруемой кислотности не менее 200 °Т, в количестве (20 – 30) % от объема сырья. Термостатируют до наступления видимой коагуляции белков и вымешивают выделившийся в осадок белок в течение (3 – 5) минут.

2. Нагревают обезжиренное молоко до температуры $(90 - 95) ^\circ\text{C}$, вносят 40 %-й раствор хлорида кальция из расчета 400 мг безводной соли на 1 л сырья, термостатируют до наступления видимой коагуляции белков.

3. Нагревают обезжиренное молоко до температуры $(90 - 95) ^\circ\text{C}$, охлаждают до температуры $(45 - 49) ^\circ\text{C}$, вносят 1н раствор соляной кислоты до достижения значений рН (4,0 – 4,2), термостатируют до наступления видимой коагуляции белков.

4. В обезжиренное молоко, нагретое до температуры $(34 \pm 1) ^\circ\text{C}$, вносят 40 %-й раствор хлорида кальция из расчета 400 мг безводной соли на 1 л сырья,

после тщательного перемешивания добавляют 1 %-й раствор сычужного фермента или пепсина из расчета 1 мг фермента на 1 л смеси. Вымешивают молоко в течение (3 – 5) минут, после чего выдерживают до наступления видимой коагуляции белков. Далее температуру повышают до 60 оС и термостатируют в течение (10 – 15) минут.

При обработке обезжиренного молока по всем вариантам фиксируют продолжительность термостатирования до наступления видимой коагуляции белков молочной сыворотки.

3. По завершении термостатирования сыворотку охлаждают до температуры 20 °С и фильтруют в мерный цилиндр через лавсановый фильтр. Через каждые 3 – 5 минут измеряют объем фильтрата и рассчитывают скорость фильтрации. Исследования проводят до установления постоянного объема отделившейся от сгустка сыворотки.

4. Для проведения анализа эффективности осаждения белков молока рассмотренными методами контролируют следующие показатели:

- массу смеси, подвергаемой осаждению белков, осветленной сыворотки и белкового концентрата;
- массовую долю сухих веществ исходной смеси, подвергаемой обработке, и фильтрата рефрактометрическим методом;
- массовую долю сухих веществ белкового концентрата методом высушивания до постоянной массы на приборе Чижовой;
- прозрачность осветленной сыворотки по шрифту (приложение В).

Рассчитывают степень перехода сухих веществ молочного сырья в белковый концентрат по формуле:

$$\alpha_{CB} = M_{БК} * СВ_{БК} / M_{СМ} * СВ_{СМ}, \quad (3.1)$$

где $M_{БК}$, $M_{СМ}$ – масса белкового концентрата и смеси, г;

$СВ_{БК}$, $СВ_{СМ}$ – массовая доля сухих веществ белкового концентрата и смеси, %. Результаты заносят в таблицы 3. 2 и 3. 3. Таблица 2 – Кинетика обезвоживания сгустка

Продолжительность обезвоживания, τ , мин.	Объем выделившийся сыворотки, W , мл	Скорость обезвоживания сгустка, $\Delta W / \Delta \tau$

По результатам исследований строят графики в координатах $W = f(\tau)$ и $\Delta W / \Delta \tau = f(\tau)$.

Таблица 3 – Анализ эффективности осаждения белков молока

Объект исследований	Массовая доля СВ, %	Масса, г	Прозрачность, см	Степень перехода СВ, $\alpha_{св}$, %
Обезжиренное молоко				-
Осветленная сыворотка				
Белковый концентрат				

Сопоставляя результаты исследований и расчетов, делают вывод об эффективности выделения белков из молочного сырья изученными методами.

5. Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- титульный лист;
- цель и алгоритм выполнения работы;
- теоретическое обоснование проводимых исследований;
- конструкции и описание принципа работы аппаратов для осаждения белков молочного сырья;
- описание методики проведения эксперимента;
- результаты исследований, графические зависимости;
- выводы.

6. Контрольные вопросы и защита работы

1. Классификация и назначение теплообменных аппаратов;
2. Устройство и принцип действия пластинчатых, трубчатых, змеевиковых теплообменников, аппаратов «труба в трубе»
3. Классификация, свойства и биологическая ценность белков молочного сырья
4. Ассортимент и характеристика молочно-белковых концентратов
5. Способы осаждения белков молочного сырья
6. Схема кислотной коагуляции казеина Механизм действия сычужного фермента на казеин
7. Сущность термокальциевой коагуляции белков молока
8. Аппаратурное оформление процесса осаждения белков молочного сырья

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАЗДЕЛЕНИЕ ЭМУЛЬСИЙ НА СЕПАРАТОРАХ.

1. Цель и содержание работы

Изучить устройство сепараторов, барабанов сепараторов одно- и двухсекционных; выполнить схему движения жидкости в барабане сепаратора; провести проверочные расчеты сепараторов с односекционным барабаном; исследовать влияние технологических факторов на процесс разделения эмульсий на примере сепарирования молока.

2. Теоретическое обоснование

Жидкостные тарельчатые сепараторы или просто сепараторы – машины для разделения эмульсий и суспензий под действием центробежных сил в тонком слое. Основными узлами любого сепаратора являются: сепарирующее устройство или барабан, где происходит разделение системы; станина, на которой крепятся все составные части; приводное устройство для передачи вращающего движения барабану и приемно-отводящее устройство для приема исходной системы и отвода фракций после разделения. Отличительной особенностью сепаратора является наличие в барабане пакета тарелок, разделяющих поток сепарируемого продукта на большое число тонких слоев и обеспечивающих ламинарный режим течения жидкости, а также уменьшение пути выделения частиц.

Различают сепараторы-осветлители, предназначенные для разделения суспензий (выделение тяжелой дисперсной фазы), сепараторы-разделители, для разделения эмульсий (выделение лёгкой дисперсной фазы) и комбинированные сепараторы, имеющие двойной пакет тарелок (для разделения и осветления).

По технологическому назначению жидкостные центробежные сепараторы можно подразделить на пять групп:

- разделители для разделения двух взаимно нерастворимых жидкостей (вода и парафин);

- очистители для выделения взвешенного компонента (клеток микробиологических суспензий);
- очистители - разделители для работы в качестве очистителей и разделителей в зависимости от сбора ротора;
- сгустители для повышения концентрации взвешенных или коллоидных компонентов микробиологических суспензий с одновременным разделением продукта в случае эмульсии;
- классификаторы (для классификации взвешенных компонентов суспензии по размеру или плотности частиц).

По способу удаления осадка из ротора сепараторы делятся на сепараторы с центробежной пульсирующей выгрузкой (саморазгружающиеся), центробежной непрерывной выгрузкой осадка (сопловые) и сепараторы с ручной выгрузкой осадка при остановке ротора.

Движущей силой процесса сепарирования является центробежная сила. Скорость выделения частиц в сепараторе (м/с):

$$V_c = [d^2 * \omega^2 * R * (\rho_t - \rho_l)] / (18 * \mu), \quad (5.1)$$

где d – диаметр частиц суспензии или эмульсии, м;

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

R – радиус барабана, м;

ρ_t, ρ_l – плотность тяжелой и легкой фаз, $кг/м^3$;

μ – динамическая вязкость дисперсионной среды, $Па \cdot c$.

Производительность сепаратора зависит от физико-химических свойств обрабатываемого продукта, а также от требуемой степени концентрации вещества. Для характеристики влияния физико-химических свойств молока на эффективность процесса сепарирования Бремер ввел понятие разделяемости молока E :

$$E = [(\rho_{\pi} - \rho_{ж}) * r^2] / \mu, \quad (5.2)$$

где r – радиус жирового шарика, м;

$\rho_{\pi}, \rho_{ж}$ – плотность плазмы молока и молочного жира, $кг/м^3$;

μ – динамическая вязкость молока, Па·с.

Фактор разделения сепаратора зависит от его конструктивных особенностей. По Бремеру, под разделяющим фактором сепаратора F понимают комплекс величин, определяемых его конструкцией:

$$F = [z * (R_B^2 - R_M^2) * \pi * H * \omega^2] / [4,6 * M * \lg (R_B / R_M)], \quad (5.3)$$

где z – число тарелок сепаратора;

R_B, R_M – соответственно больший и меньший радиусы тарелки, м;

H – высота тарелки, м;

M – производительность сепаратора, л/ч.

Схема движения жидкости в барабане сепаратора-осветлителя показана на рисунке 5. 1.

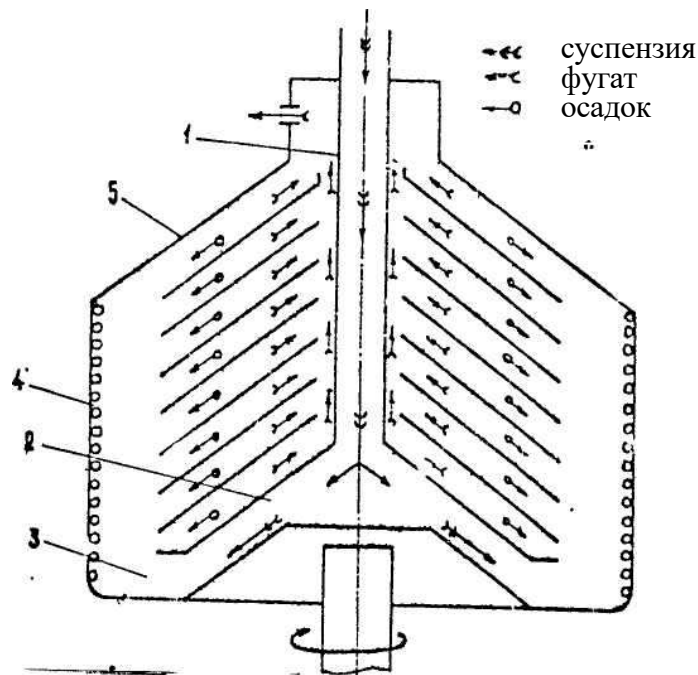


Рисунок 5. 1 – Схема движения жидкости в барабане сепаратора-осветлителя: 1 – центральная трубка; 2 – тарелкодержатель; 3 – периферия пакета тарелок; 4 – шламовое пространство; 5 – корпус барабана.

Исходный продукт по центральной трубе 1 поступает в тарелкодержатель 2 и по его каналам на периферию пакета тарелок 3. Затем жидкость распределяется по межтарелочным пространствам, где и происходит отделение тяжелых дисперсных частиц. Частицы, перемещаясь на периферию барабана, образуют в шламовом пространстве 4 осадок. Осветленная жидкость

вдоль тарелок барабана поднимается в верхнюю часть барабана и отводится из него.

Схема движения жидкости в барабане сепаратора-разделителя показана на рисунке 5. 2.

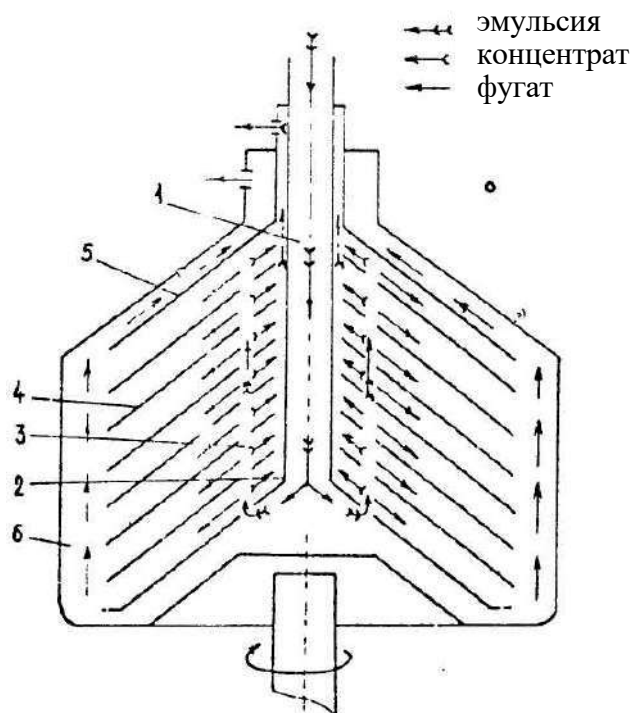


Рисунок 5. 2 – Схема движения жидкости в барабане сепаратора-разделителя: 1 – центральная трубка; 2 – тарелкодержатель; 3 – канал; 4 – тарелки; 5 – разделительная тарелка; 6 – шламовое пространство.

Исходный продукт по центральной трубе 1 поступает в тарелкодержатель 2 и по вертикальным каналам 3, образованным отверстиями в тарелках 4, распределяется по межтарелочным пространствам. Из-за расположения канала 3 ближе к центру такую подачу называют центральной.

В межтарелочном пространстве происходит отделение лёгкой дисперсной фазы, которая в виде жидкого концентрата вдоль тарелкодержателя поднимается в верхнюю часть барабана и выводится из него. Более тяжелая фракция (жидкость после отделения лёгких дисперсных частиц) по периферии барабана и вдоль наружной поверхности разделительной тарелки 5 поднимается также в верхнюю часть барабана и выводится из него. Самые тяжелые дисперсные частицы, которые имеются во

всех пищевых жидкостях, оседают в шламовом пространстве 6 барабана, образуя осадок.

Конструктивные отличия барабанов сепараторов-осветлителей и сепараторов-разделителей приведены в таблице 5. 1.

Таблица 1 – Конструктивные отличия различных сепараторов

Конструктивный признак (элемент)	Особенности для сепараторов	
	осветлителей	разделителей
Подача исходного продукта	периферийная	центральная
Тарелки	без отверстий с планками	с отверстиями и шипиками
Межтарелочный зазор	0,7 – 1,0 мм	0,4 – 0,5 мм
Шламовое пространство	больше	меньше
Разделительная тарелка	отсутствует	имеется
Количество выводимых из сепаратора жидких фракций	одна	две

Комбинированные сепараторы имеют двухпакетную компоновку: верхний пакет – осветлительный, нижний – разделительный. Такие сепараторы используются для одновременного выделения как лёгких фракций (жир), так и более тяжелых (белки). Схема движения жидкости в барабане комбинированного (двухсекционного) сепаратора показана на рисунке 5. 3.

Поступающая по центральной трубке 1 исходная жидкость по каналам тарелкодержателя 2 поступает на периферию барабана (периферийная подача). Распределившись по межтарелочным пространствам осветлительного пакета 3, жидкость проходит стадию выделения тяжелых дисперсных частиц. Образующийся при этом осадок по наклонной поверхности, ограничивающей шламовое пространство 4, перемещается к периферии барабана.

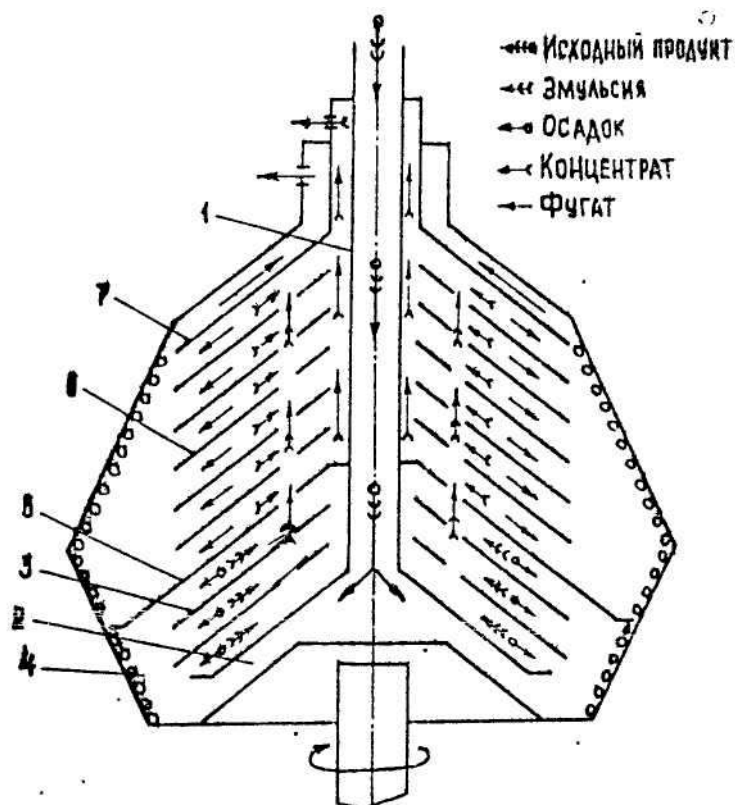


Рисунок 3 – Схема движения жидкости в барабане комбинированного (двухсекционного) сепаратора: 1 – центральная трубка; 2 – каналы тарелкодержателя; 3 – осветлительный пакет; 4 – шламовое пространство осветлительного пакета; 5 – межсекционная разделительная тарелка; 6 – разделительный пакет; 7 – разделительная тарелка.

Специфический конструктивный элемент двухсекционных сепараторов – межсекционная разделительная тарелка 5, выполняет две функции. Через зазор с поверхностью шламового пространства она обеспечивает перемещение осадка на периферию. При заполнении зазора осадком она предотвращает переток по периферии сепарируемой жидкости. Очищенная от тяжелой фракции жидкость (эмульсия) по вертикальным каналам (отверстия в этом случае имеют тарелки обоих пакетов) поступает в межтарелочное пространство разделительного пакета 6 (центральная подача). После разделения в межтарелочных пространствах на две жидкие фракции движение продуктов осуществляется как в сепараторе-разделителе. Для этих целей в верхней части пакета имеется разделительная тарелка 7.

Разгрузочные устройства саморазгружающихся сепараторов.

Особый интерес у саморазгружающихся сепараторов представляет разгрузочное устройство. При непрерывной центробежной выгрузке осадка используют периферийные сопла, наклонные каналы или регулируемый отвод концентрата под давлением. Схема барабана с периферийными соплами приведена на рисунке 5. 4.

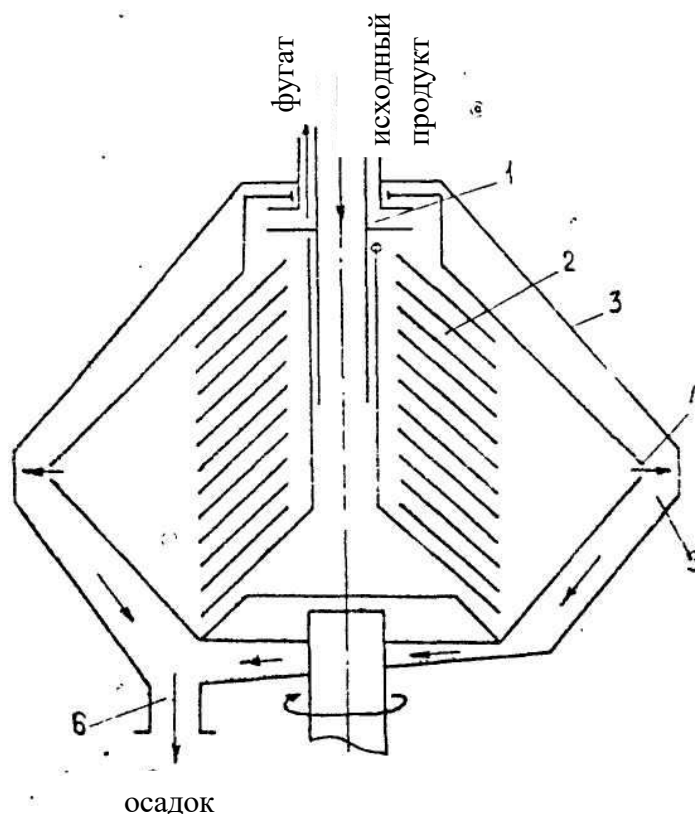


Рисунок 4 – Схема барабана сепаратора с непрерывной центробежной выгрузкой осадка (с периферийными соплами): 1 – приемно-отводящее устройство; 2 – пакет тарелок; 3 – корпус барабана; 4 – периферийные сопла; 5 – приемник осадка; 6 – патрубок для отвода осадка.

Подаваемая на сепарирование суспензия поступает в пакет тарелок 2, где происходит выделение осадка. При наличии сопел (каналов) 4 осадок не отлагается на стенках шламowego пространства, а под действием центробежной силы выбрасывается в приемник 5. Количество каналов должно быть достаточным, чтобы на периферии барабана не образовывались застойные зоны. При наличии таких зон гребни накапливаемого осадка достигают наружной кромки пакета тарелок, и процесс сепарирования будет

нарушен. Расстояние между соплами определяется углом естественного откоса осадка в поле действия центробежных сил. Внутренний диаметр сопла устанавливается в пределах 0,6 – 2,5 мм. Он зависит от производительности сепаратора, требования к степени сгущения, от свойств осадка, его структуры и возможности попадания примесей в сепарируемый продукт.

Основным недостатком сопловых сепараторов является невозможность получения высококонцентрированных осадков. В процессе работы сепаратора через сопла вместе с осадком неизбежно выходит значительное количество жидкой фазы.

Часть саморазгружающихся сепараторов работают с периодической (пульсирующей) выгрузкой осадка. Особенностью таких сепараторов является наличие разгрузочных каналов (щелей) на периферии барабана. В период накопления осадка в шламовом пространстве каналы перекрываются подвижным элементом и открываются для центробежного удаления осадка на ходу машины. Перемещение подвижного элемента осуществляется за счет изменения гидростатических давлений, действующих на него. Принцип действия разгрузочного устройства можно понять из рисунка 5. 5.

При вращении барабана в жидкости возникает гидростатическое давление. Величина его зависит от размеров барабана, частоты вращения и плотности продукта. Для перекрытия каналов на периферии имеется поршень. Если в полости под поршнем создать давление более высокое, которое возникло в жидкости, то поршень надежно перекроет каналы, и осадок будет накапливаться в шламовом пространстве. Опустив поршень, можно провести выгрузку накопившегося осадка. Осуществить это можно двумя способами.

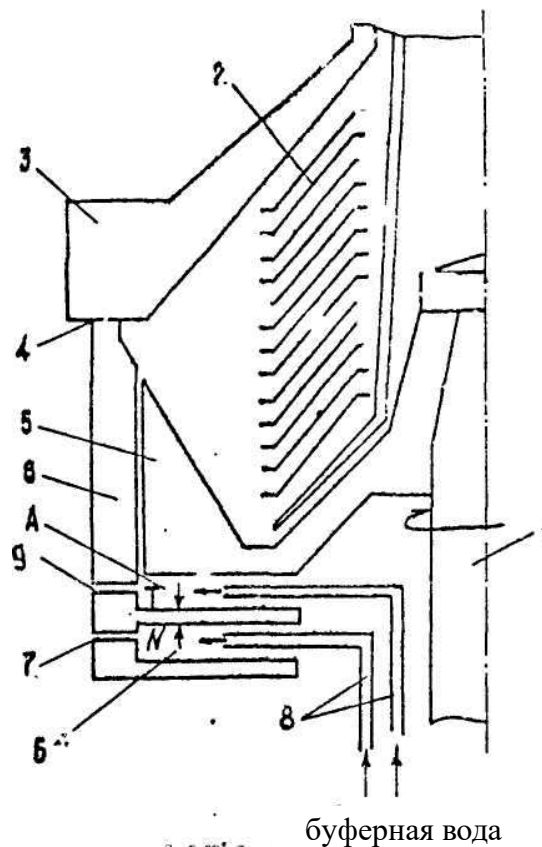


Рисунок 5 – Схема работы устройства для центробежной периодической выгрузки осадка: 1 – вал; 2 – пакет тарелок; 3 – крышка барабана; 4 – разгрузочные щели; 5 – корпус барабана; 6 – подвижный элемент; 7 – каналы; 8 – трубки для подвода буферной воды.

Первый способ заключается в следующем. Открывается канал 7, жидкость из полости Б удаляется и под действием давления в барабане поршень опустится. Такой способ получил название “от продукта”. Второй способ предусматривает подачу воды по каналу 8 в полость А, создание там давления, превышающего давление в полости Б, что и обеспечивает опускание поршня. Такой способ получил название “от буферной жидкости”.

Принцип разгрузочного устройства “от продукта” нашел практическое применение в барабанах сепараторов с подвижным днищем. Схема такого барабана приведена на рисунке 5. 6.

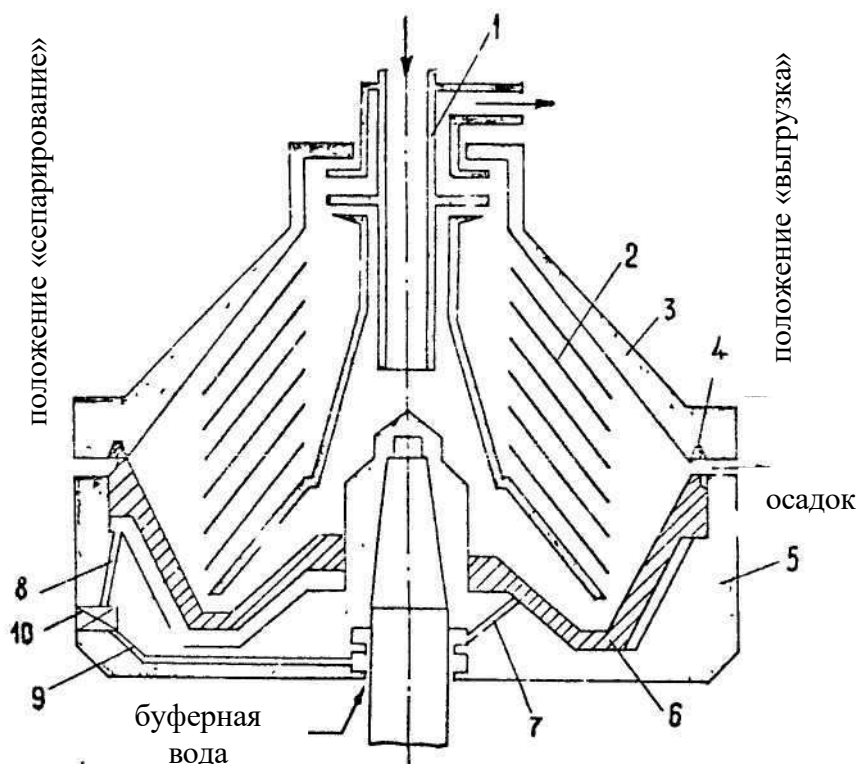


Рисунок 6 – Схема барабана сепаратора с подвижным днищем: 1 – приемно-отводящее устройство; 2 – пакет тарелок; 3 – крышка барабана; 4 – капроновая прокладка; 5 – основание барабана; 6 – подвижное днище; 7, 8, 9 – каналы для буферной воды; 10 – клапан.

Управление процессом выгрузки осадка осуществляется с помощью двух клапанов 10, расположенных на периферийной части барабана. После набора барабаном сепаратора рабочей частоты вращения в полость барабана под подвижным днищем подается буферная вода, которая создает гидростатическое давление. Под давлением днище поднимается, плотно прижимается к прокладке 4 и перекрывает разгрузочные каналы. Для осуществления выгрузки осадка вода из полости под подвижным днищем удаляется, днище опускается и происходит выгрузка осадка. При возобновлении подачи воды в полость под днище оно поднимается и начинается новый цикл сепарирования.

Принцип разгрузочного устройства “от жидкости” нашел практическое воплощение в барабанах сепараторов с внутренним поршнем. Схема такого барабана показана на рисунке 5. 7.

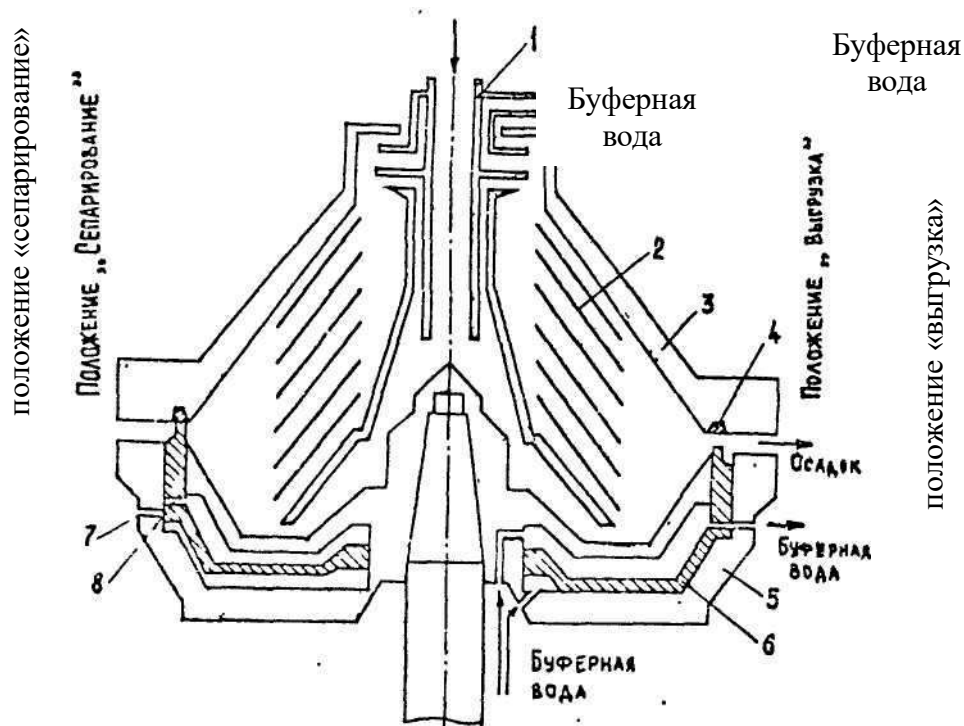


Рисунок 7 – Схема барабана сепаратора с внутренним поршнем: 1 – приемно-отводящее устройство; 2 – пакет тарелок; 3 – крышка барабана; 4 – капроновая прокладка; 5 – основание барабана; 6 – внутренний поршень; 7,8 – отверстия.

В процессе сепарирования поршень 6 находится в поднятом положении, плотно прижимается к прокладке 4 и перекрывает разгрузочные щели за счет давления под поршнем буферной воды. При разгрузке давление воды над поршнем превышает давление воды под поршнем, и он перемещается вниз, открывая разгрузочные отверстия. Одновременно открывается отверстие для слива воды над поршнем и он начинает подниматься вверх, перекрывая разгрузочные отверстия. Начинается новый цикл сепарирования.

Приемно-отводящие устройства сепараторов. Конструкция приемно-отводящих устройств (ПОУ) определяется типом сепаратора и его назначением. Следует различать три типа ПОУ: открытые, полугерметичные и герметичные. Самое простое по устройству приемно-отводящее устройство открытого типа (рисунок 8 а). Исходный продукт подается в приемную чашу и выводится из барабана свободными струями в приемники, установленные на

крышке сепаратора. Количество приемников соответствует числу выводимых фракций. В сепараторах полужакрытого типа продукт подается через штуцер, а отвод жидких фракций осуществляется при помощи напорных дисков, неподвижно установленных в напорных камерах.

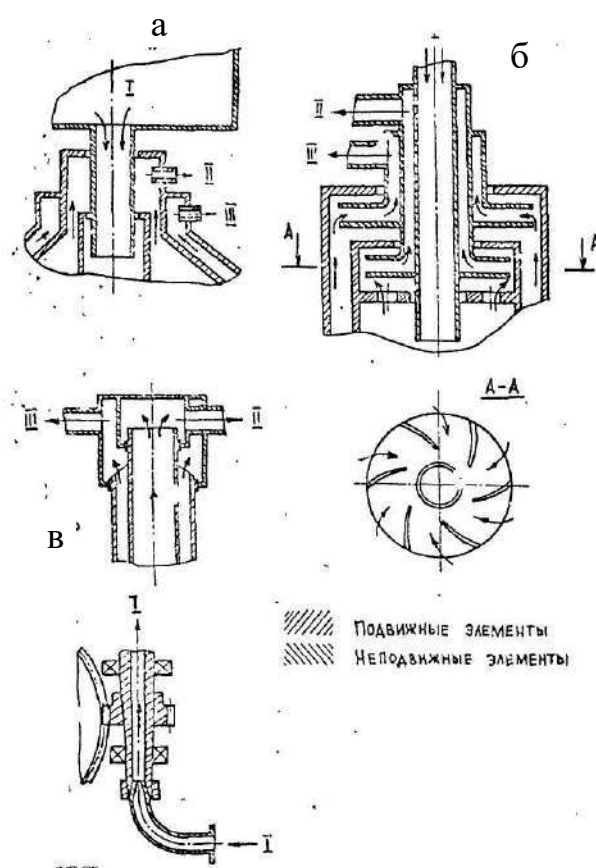


Рисунок 8 – Схема приемно-отводящих устройств сепараторов: а – открытого; б – полугерметичного; в – герметичного.

Обозначения потоков: 1 – исходный продукт; 11 – концентрат легкой дисперсной фазы (сливки); 111 – плазма (обезжиренное молоко).

Схема действия напорных дисков приведена на рисунке 5. 8 б. Эффект движения жидкости в напорных дисках можно считать обратным центробежному насосу. Как и в роторе центробежного насоса, диски имеют криволинейные ребра. Жидкость, поступающая в камеру, образует вращающееся кольцо (для лучшего вращения в камере имеются ребра). Жидкость за счет давления, создаваемого в барабане, и направляющих ребер поступает в отводные патрубки. Эффективность такого напорного устройства

определяется профилем каналов, соответствием проходного сечения требуемой производительности и конструкцией камеры.

Герметичный способ ПОУ реализован в ряде зарубежных сепараторов. В современном варианте подача исходного продукта проводится снизу через полый вал (рисунок 5. 8 в). Продукт на сепарирование подается под давлением. Это же давление используется и для отвода продуктов (продукта).

3. Аппаратура и материалы

Сепаратор лабораторный, весы технические, центрифуга лабораторная, баня водяная, термометры; кислота серная плотностью 1,81 – 1,82 г/см³, спирт изоамиловый; жироскопы молочные и сливочные, пробки резиновые для жироскопов, пипетки на 10,77 см³, 1 см³, приборы для отмеривания серной кислоты и изоамилового спирта на 10 см³ и 1 см³.

4. Указания по технике безопасности

При выполнении исследований следует соблюдать общие правила техники безопасности, рассмотренные в методических указаниях к выполнению лабораторной работы 1. Особенное внимание следует уделить правилам работы с концентрированным раствором серной кислоты и изоамиловым спиртом.

При работе на сепараторе необходимо соблюдать следующие требования. Электродвигатель сепаратора должен быть заземлен. Перед пуском необходимо проверить правильность сборки барабана, крепление приемно-выводного устройства. Запрещается снимать, поправлять или устанавливать приемно-выводное устройство во время вращения барабана сепаратора. Запрещается работать при обнаружении посторонних шумов, при задевании барабана за детали приемно-выводного устройства, при повышенной вибрации сепаратора, с разбалансированным барабаном.

Категорически запрещается работать на сепараторе при частоте вращения выше указанной в паспорте. Запрещается тормозить барабан посторонними предметами или другими способами, не предусмотренными инструкцией, а также разбирать сепаратор во время вращения барабана.

Запрещается работать на сепараторе с барабаном, собранным с деталями от другого сепаратора. В случае замены каких-либо деталей необходимо заново провести балансировку барабана.

5. Методика и порядок выполнения работы

1. По литературным источникам изучить устройство сепараторов; вычертить схему движения жидкости в одно- и двухсекционных барабанах сепараторов; привести описание выгрузки осадка в саморазгружающихся сепараторах; вычертить схему движения жидкости в приемно-отводящих устройствах различных типов сепараторов.

Изучить устройство лабораторного сепаратора; привести описание его устройства, порядок сборки и разборки; провести разборку и сборку сепаратора; провести замер разделительных тарелок.

БЛОК 2. Подгруппа разбивается на 3 – 4 бригады, из числа студентов назначается бригадир, отвечающий за порядок, определяется порядок выполнения работы каждой бригадой. В процессе работы необходимо изучить следующие вопросы:

1. Подготовка сепаратора к работе. При подготовке сепаратора к работе все детали тщательно моют, дезинфицируют, производят сборку барабана и сепаратора в целом. Установив барабан на веретено, проверяют положение сливочного винта и отверстия для выхода обезжиренного молока соответственно приемникам сливок и обезжиренного молока.

При составлении отчета описать порядок мойки, дезинфекции и сборки барабана и сепаратора.

2. Пуск сепаратора в работу и сепарирование молока. Включив электродвигатель сепаратора, дают набрать сепаратору рабочие обороты вращения барабана, промывают горячей водой с температурой 45 – 50 °С и подают молоко при требуемой температуре сепарирования. После окончания сепарирования молока через барабан пропускают часть обезжиренного молока для вытеснения из барабана остатка сливок. После полной остановки барабана

сепаратор разбирают. Барабан сепаратора и приемную посуду моют, дезинфицируют и просушивают.

Каждая бригада проводит сепарирование молока при разных температурах: 1 – температура 10 – 15 °С; 2 – температура 35 – 40 °С; 3 – температура 55 – 60 °С; 4 – температура 75 – 80 °С. Распределение по вариантам и порядок сепарирования определяет преподаватель.

3. Производительность сепаратора-сливкоотделителя можно рассчитать по формуле:

$$M = [46 * b * n^2 * z * \operatorname{tg} \alpha * (R_b^3 - R_m^3)] * [(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{ж}}) * d^2] / \mu, \quad (5.4)$$

где M – производительность сепаратора-сливкоотделителя, $\text{м}^3/\text{с}$;

b – технологический КПД сепаратора, учитывающий отклонение реального процесса от теоретического ($b=0,5 - 0,8$);

n – частота вращения барабана, с^{-1} ;

α – угол наклона между образующей тарелки и горизонтом, град;

d – диаметр расчетного жирового шарика в обезжиренном молоке, принимаемый равным $m (1,3 - 1,4) * 10^{-6} \text{ м}$.

Его также можно рассчитать по формуле:

$$d = (m/0,04) + 0,5, \quad (5.5)$$

где m – массовая доля жира в обезжиренном молоке, %.

При температурах сепарирования (20 – 50) °С практически достаточная точность обеспечивается при замене:

$$(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{ж}}) / \mu = 2900 * t, \quad (5.6)$$

где t – температура сепарирования, °С.

Этой зависимостью можно воспользоваться при проведении расчетов.

БЛОК 4. Результаты исследований и расчетов заносят в таблицу 5.2.

В отчете проанализировать влияние температуры сепарирования на массовую долю жира в сливках, степень обезжиривания молока, потери жира и степень его использования, производительность сепаратора; влияние

производительности сепаратора на эффективность разделения системы. Для отдельных показателей построить графические зависимости.

Таблица 2 – Результаты исследований эффективности разделения эмульсий

Показатели	Варианты сепарирования			
	1	2	3	4
Температура сепарирования, °С				
Масса сепарируемого молока, кг Массовая доля жира в молоке, % Масса жира в молоке, кг				
Масса обезжиренного молока, кг Массовая доля жира в обезжиренном молоке, % Масса жира в обезжиренном молоке, кг				
Масса сливок, кг Массовая доля жира в сливках, % Масса жира в сливках, кг				
Потери жира: кг % Расход молока (кг) на 1 кг сливок Степень использования жира, %				
Производительность сепаратора, м ³ /с				

6. Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- титульный лист;
- цель и алгоритм выполнения работы;
- схемы и описание устройства изученных типов сепараторов;
- методику проведения экспериментальных исследований;
- результаты исследований, графические зависимости;
- выводы.

7. Контрольные вопросы и защита работы

1. Способы классификации сепараторов;
2. Особенности конструкции сепараторов-разделителей, сепараторов-осветлителей, сепараторы с центробежной непрерывной выгрузкой осадка;
3. Бактофуги и их характеристика;
4. Влияние технологических факторов на производительность сепараторов и разделяемость эмульсий.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 11. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ.

1. Цель и содержание работы

Познакомиться с оборудованием для разделения неоднородных жидкостей; изучить классификацию, устройство фильтров и центрифуг; исследовать влияние технологических факторов на эффективность разделения суспензий методами фильтрования и центрифугирования на примере выделения белков из молочного сырья.

2. Теоретическое обоснование

Для разделения неоднородных систем из жидкой и твердой фаз существует множество способов и специального оборудования. Наиболее древним и простым является метод отстаивания. Взвешенные частицы под воздействием силы тяжести и разности между плотностями жидкости и взвешенных частиц оседают на дно сосуда. Процесс осаждения под действием силы тяжести протекает очень медленно и может длиться часами, а иногда и сутками. Поэтому на практике в настоящее время он используется редко.

Более прогрессивным способом разделения жидких и твердых фаз системы можно считать фильтрацию. Фильтрация основана на задержании пористыми перегородками взвешенных в жидкости частиц. Но и он имеет существенные недостатки: длительность процесса, необходимость смены фильтрующих перегородок, потребность нескольких аппаратов для организации непрерывного процесса и другие эксплуатационные недостатки.

Фильтровальное оборудование подразделяют по следующим классификационным признакам:

- *по принципу действия* – на оборудование, действующее при постоянной разности давлений или при постоянной скорости фильтрования;
- *по способу создания перепада давления на фильтровальной перегородке* – на установки, работающие под избыточным давлением или под вакуумом;

- по методу организации технологического процесса – на оборудование периодического или непрерывного принципа действия.

Избыточное давление на фильтровальной перегородке может создаваться силами давления (фильтры) или центробежной силой (центрифуги и тарельчатые сепараторы).

Фильтры, используемые для разделения суспензий в биотехнологических производствах, работают как под вакуумом, так и под избыточным давлением. Для фракционирования небольших объемов суспензий целесообразно использование фильтров, работающих в периодическом режиме с выгрузкой осадка по завершении процесса. В крупнотоннажных производствах применяют фильтры большой производительности непрерывного принципа действия. В данном случае выгрузку осадка осуществляют непосредственно в процессе фильтрования по мере накопления осадка на фильтрующей перегородке.

При проектировании фильтрационного оборудования необходимо учитывать необходимость создания компактных, высокопроизводительных аппаратов с развитой фильтрационной поверхностью, позволяющей производить ее регенерацию без остановки технологического процесса.

Фильтровальные установки используют для отделения биомассы промышленных продуцентов (в первую очередь мицелиальных грибов) от культуральной жидкости, очистки молока от механических примесей, осветления соков и вин, очистки промышленных сточных вод от взвешенных веществ.

Основными типами фильтровальных установок, используемых на предприятиях биотехнологической и пищевой промышленности являются нутч-фильтры, рамные фильтр-прессы, фильтр-прессы автоматизированные камерные с механизированной выгрузкой осадка (ФПАКМ), барабанные вакуум-фильтры, дисковые и ленточные фильтры.

Прогрессивными методами разделения считаются те, где используются центробежные силы – центрифугирование и сепарирование. В этом случае разделение системы происходит гораздо быстрее и полнее.

Промышленные центрифуги классифицируются:

- *по принципу разделения* – на осадительные, фильтрующие и комбинированные центрифуги;
- *по конструкции опор и расположению оси барабана* – на центрифуги с горизонтальным, вертикальным и наклонным расположением вала (имеют жесткие или упругие шарнирные и комбинированные опоры);
- *подвесные* – с верхним и нижним расположением привода;
- *по способу выгрузки осадка* – с ручной выгрузкой осадка, шнековой, поршневой, гравитационной, центробежной или вибрационной;
- *по фактору разделения* – на нормальные с фактором разделения менее 3500 и сверхцентрифуги с фактором разделения более 3500;
- *по организации процесса* – на центрифуги периодического и непрерывного действия.

Метод центрифугирования основан на воздействии сил центробежного поля на неоднородную систему, которая может состоять из двух и более фаз. Центрифугирование жидких неоднородных систем осуществляют двумя способами: центробежным фильтрованием через перфорированную стенку ротора, на внутренней стенке которого уложена фильтровальная перегородка (фильтрующие центрифуги), и через отстойные роторы, имеющие сплошную обечайку (отстойные центрифуги). Иногда применяют и комбинированные отстойно-фильтрующие центрифуги, в которых совмещаются оба принципа разделения.

В роторе фильтрующих центрифуг происходит фильтрация суспензии через фильтровальную ткань или металлическую сетку. Частицы твердой фазы отлагаются на фильтрующей поверхности, а жидкость проходит через сито и отверстия в роторе, выбрасывается в кожух центрифуги и отводится через специальное устройство. Осадок выгружается после остановки центрифуги.

К фильтрующим центрифугам, широко используемым в различных отраслях биотехнологии и пищевой промышленности, следует отнести пульсирующие, маятниковые, автоматические установки.

В отстойных центрифугах твердые частицы, имеющие плотность более высокую по сравнению с жидким компонентом, осаждаются на обечайке ротора в виде кольцевого слоя. Жидкий компонент также образует кольцевой слой, но ближе к оси вращения ротора. Осветленная жидкость может выводиться с помощью отсосной трубы, а осадок выгружаться на ходу или после остановки аппарата. Из данной группы наибольшее распространение получили осадительные центрифуги типа ОГШ.

Особо следует отметить трубчатые сверхцентрифуги, имеющие фактор разделения до 17000 и используемые для фракционирования стойких эмульсий, микробных суспензий с низкой концентрацией дисперсной фазы.

Движущей силой процесса центрифугирования является центробежная сила $P_{ц}$ (Н):

$$P_{ц} = G * R * \omega^2 / g, \quad (4.1)$$

где G – вес вращающегося тела, Н;

R – внутренний радиус барабана, м;

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

g – ускорение силы тяжести, $м/с^2$.

Одним из основных критериев для выбора типа центрифуги или сепаратора является фактор разделения. Он показывает, во сколько раз ускорение центробежного поля, развиваемое в центрифуге, больше ускорения силы тяжести. Численно фактор разделения равен центробежной силе, возникающей при вращении тела весом 1 Н.

Фактор разделения рассчитывают по формуле:

$$f_p = R * \omega^2 / g. \quad (4.2)$$

Более эффективным способом разделения систем на фракции, по сравнению с центрифугами, является сепарирование. Сепарирование нашло

широкое применение при концентрировании кормовых и хлебопекарных дрожжей, разделении эмульсий, осветлении биологически активных веществ и т.п. Применение сепараторов позволяет обрабатывать большие объемы суспензий, фильтрование которых затруднено, интенсифицировать выделение и концентрирование микроорганизмов и твердых частиц размером более 0,5 мкм.

3. Аппаратура и материалы

Аппаратура: весы лабораторные, баня водяная, термостаты суховоздушные, рефрактометр, центрифуга лабораторная, титровальная установка, воронки с бумажными и лавсановыми фильтрами, цилиндры стеклянные емкостью 100 и 250 см³, колбы термостойкие емкостью 200 – 250 см³, колбы конические емкостью 100 – 150 см³.

Реактивы: 0,1 н раствор гидроксида натрия, 40 %-й раствор формалина, 1 %-й спиртовой раствор фенолфталеина, 1 н раствор соляной кислоты.

4. Указания по технике безопасности

При выполнении исследований следует соблюдать общие правила техники безопасности, рассмотренные в методических указаниях к выполнению лабораторной работы 1. Особенное внимание следует уделить правилам работы с растворами кислот и щелочей, формалина. Перед началом работы с центрифугой ознакомиться с правилами эксплуатации оборудования. Категорически запрещается открывать крышку центрифуги до полной остановки ротора!

Методика и порядок выполнения работы

1. Для выполнения задания необходимо выполнить схемы промышленных фильтровальных установок, фильтрующих и осадительных центрифуг. В отчете привести описание устройства и принципа работы данных типов оборудования.

2. Для проведения исследований отбирают образцы обезжиренного молока объемом 250 – 300 см³, предварительно определяют титруемую кислотность и массовую долю белка методом формольного титрования,

массовую долю сухих веществ рефрактометрическим методом. Нагревают сыворотку до температуры 80 °С, регулируют pH до значений 4,4 – 4,6 и термостатируют до наступления видимой коагуляции белков. Далее образцы обрабатывают по четырем вариантам по схеме, приведенной в таблице 4. 1.

Таблица 4. 1 – Схема обработки образцов обезжиренного молока

Параметры	Варианты			
	1	2	3	4
Температура охлаждения, °С	20	30	40	50
Фильтрующий материал	лавсан бумага	лавсан бумага	лавсан бумага	лавсан бумага
Центрифугирование, об / мин в течение 3 минут	1000	1000	1000	1000
	2000	2000	2000	2000
	3000	3000	3000	3000

3. Каждая бригада исследует влияние на процесс разделения следующих факторов: фильтрования через различные фильтрующие материалы с учетом затрат времени и эффективности разделения системы; скорости вращения центрифуги, температуры процессов фильтрации и центробежного разделения.

Для оценки эффективности разделения суспензии определяют:

- массовую долю сухих веществ сыворотки;
- массу полученных белковых концентратов;
- объемы отделившейся при фильтровании и центрифугировании сыворотки;
- прозрачность по шрифту образцов сыворотки.

4. Результаты исследований заносят в таблицу 4. 2.

Таблица 4.2 – Анализ эффективности разделения суспензий

Показатель	Фильтрование		Центрифугирование, об/мин		
	бумага	лавсан	1000	2000	3000
Массовая доля сухих веществ сыворотки, %					
Масса белкового концентрата, г					
Объем сыворотки, см ³					
Прозрачность сыворотки по шрифту, см					

На основании результатов исследований анализируют: изменение массы выделившегося осадка от способа разделения системы (фильтрация через различные фильтрационные материалы, центрифугирование); изменение объема выделившегося осадка от скорости вращения центрифуги; изменение объема выделившегося осадка от температуры разделения суспензии.

5. Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- титульный лист;
- цель и алгоритм выполнения работы;
- теоретическое обоснование проводимых исследований;
- схемы, описание устройства фильтров и центрифуг;
- методику проведения эксперимента;
- результаты исследований, графические зависимости;
- выводы.

6. Контрольные вопросы и защита работы

1. методы фракционирования суспензий;
2. классификация, устройство, принцип действия основных типов промышленных фильтров;
3. классификация центрифуг, устройство, принцип действия осадительных и фильтрующих центрифуг, сверхцентрифуг;
4. критерии, определяющие выбор типа центрифуги;
5. факторы, влияющие на эффективность разделения суспензии;
6. экспериментальные методики оценки эффективности фракционирования суспензий методами фильтрования и центрифугирования.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 12. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОТЖИМА. ПРЕСС СЫРОДЕЛЬНЫЙ

1 Теоретическое обоснование

Прессование является обязательной операцией при производстве многих видов сыров. Прессование сырной массы проводят с целью её уплотнения, удаления остатков свободной (находящейся между сырными зёрнами) сыворотки и образования замкнутого и прочного поверхностного слоя.

Прессование может осуществляться под действием собственного веса (самопрессование) или внешнего давления. Самопрессование – выдержка сырной массы в формах без нагрузки.

Для прессуемых сыров стадия самопрессования предшествует прессованию, для самопрессующихся сыров (с нежной структурой) является конечной операцией обезвоживания и уплотнения сырной массы.

Давление и продолжительность прессования определяются видом сыра и типом дренажного материала.

Для прессования сырной массы используют прессы, которые можно подразделить на 4 класса: механические, пневматические, вакуумные и гидравлические.

Основное количество используемых в сыроделии прессов – прессы пневматические. Пневматические прессы, в свою очередь, бывают вертикальными полочными, горизонтальными, вертикальными для прессования блочных сыров, туннельными, а также конвейерными.

Вертикальные пневматические прессы бывают двух- или четырехсекционные. В первом случае одновременно устанавливаются 12 форм с сырной массой, во втором – 24.

2 Аппаратура и материалы

Вертикальный пресс для сыра, установленный в лаборатории оборудования молочной промышленности, штангельциркуль.

3 Указание по технике безопасности

При изучении конструкции и работы пресса, избегать возможного смещения полок.

4 Методика и порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и принцип действия пресса для сыра, выполнить эскиз общего вида и пневматическую схему пресса с указанием конструктивных элементов.

2. Определить диаметр поршня, вычислить площадь его сечения и, по требуемому усилию прессования из технологической инструкции для одного из видов сыра, рассчитать давление воздуха в пневмоцилиндре.

3. Составить раздел «Описание и работа изделия» руководства по эксплуатации.

В соответствие с ГОСТ 2.601-95 раздел «Описание и работа изделия» руководства по эксплуатации содержит следующие подразделы:

- назначение изделия;
- технические характеристики (свойства);
- состав изделия;
- устройство и работа;
- средства измерения, инструмент и принадлежности;
- маркировка и пломбирование;
- упаковка.

Подраздел «Назначение изделия» содержит наименование изделия, его обозначение, назначение, область применения, параметры, размеры, характеризующие условия эксплуатации.

Подраздел «Технические характеристики» содержит технические дан-

ные, основные параметры и характеристики (свойства), необходимые для изучения и правильной технической эксплуатации изделия.

Подраздел «Состав изделия» содержит наименования, обозначения и места расположения основных составных частей изделия и установленных для изделия комплектов запасных частей.

Подраздел «Устройство и работа» содержит общие сведения о принципе действия, устройстве и режимах работы изделия в целом, взаимодействии составных частей изделия. Устройство и работу излагают со ссылками на позиции общего вида и пневматической схемы.

Подраздел «Средства измерения, инструмент и принадлежности» содержит назначение, перечень, места расположения и краткие основные технические (в том числе метрологические) характеристики, а также устройство и принцип действия специальных средств измерения, испытательного и другого оборудования, инструмента и принадлежностей, которые необходимы для контроля, регулирования (настройки), выполнения работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту изделия и его составных частей.

Подраздел «Маркировка и пломбирование» содержит сведения для всего изделия в целом о маркировании и пломбировании изделия, тары и упаковочных материалов.

Подраздел «Упаковка» содержит для всего изделия в целом описание конструкции и порядка использования тары, упаковочных материалов и т.п., порядок пломбирования и распломбирования.

5 Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется в специальной тетради или листах формата А4. В отчете указывается цель и содержание работы, аппаратура и материалы, а также выполняются все задания, предусмотренные настоящими методическими указаниями.

6 Контрольные вопросы и защита работы

1. Изобразите схемы классификации прессов для сыра.
2. Укажите преимущества и недостатки вертикальных пневматических прессов.
3. Как измениться давление прессование при изменении массы прессуемой головки, вида сыра?
4. Какие параметры характеризуют работу пресса, как технологического аппарата?
5. Укажите пути совершенствования оборудования для прессования сыров.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 13. УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И РАСЧЕТ

1. Цель и содержание работы:

Познакомиться с процессом разделения биологических объектов мембранными методами; изучить свойства существующих мембран и их характеристики; познакомиться с основными типами ультрафильтрационных установок; провести исследование ультрафильтрационного разделения обезжиренного молока; исследовать факторы, влияющие на процесс ультрафильтрации; оценить результаты экспериментальных исследований.

2. Теоретическое обоснование

Мембранная технология нашла широкое применение при переработке сельскохозяйственного сырья растительного и животного происхождения. В микробиологической промышленности она широко используется для концентрации субстратов, разделения растворов и суспензий, стерильной фильтрации при выработке различных продуктов и препаратов микробного синтеза. По сравнению с другими альтернативными процессами, используемыми для этих целей, она менее энергоемка, экологична, для размещения оборудования требуются меньшие производственные площади. В будущем, по мере разработки новых материалов для мембран, использование мембранной технологии значительно расширится.

Ультрафильтрация относится к мембранной технике разделения многокомпонентных систем, в том числе и биологических. Она нашла широкое применение в различных отраслях промышленности, как в нашей стране, так и за рубежом. Процесс разделения полидисперсных систем основан на молекулярной фильтрации через полупроницаемые мембраны с размером пор 10 – 100 нм, при которой под действием градиента давления происходит фракционирование компонентов раствора по величине и структуре их молекул.

Рассмотрим процесс ультрафильтрации биологических жидкостей схематично на примере обезжиренного молока. Пусть какая-то емкость разделена полупроницаемой мембраной на две части. Полупроницаемые ультрафильтрационные мембраны имеют размер пор от 10 до 100 нм и способны удерживать вещества с молекулярной массой 10^4 и выше.

Основными компонентами обезжиренного молока являются остатки молочного жира (в виде жировых шариков), казеин (мицеллы), сывороточные белки (молекулы различных размеров), лактоза, пептиды, минеральные вещества. Данные об основных компонентах обезжиренного молока приведены в таблице 6. 1.

Таблица 6. 1 – Характеристика основных компонентов обезжиренного молока

Наименование компонента	Размер частиц, нм	Дисперсное состояние и форма частиц
Молочный жир	2000 – 5000	Эмульсия, жировые шарики
Казеин	100 – 200	Коллоидный раствор, шарообразные мицеллы
Сывороточные белки	15 – 50	Коллоидный раствор, глобулы
Лактоза	1,5	Истинный раствор
Минеральные соли	0,2 – 2,0	Истинный раствор

В одну часть емкости поместим обезжиренное молоко и создадим давление. Начнется процесс ультрафильтрации. Движущей силой ультрафильтрационного процесса является разность создаваемого избыточного давления и осмотического давления жидкости. Сквозь мембрану в процессе фильтрации будут проходить: растворитель (вода), а также компоненты, размер молекул которых меньше, чем диаметр пор мембраны – лактоза, минеральные вещества, небелковые азотистые соединения, некоторые фракции сывороточных белков. Таким образом, при обработке обезжиренного молока происходит селективное концентрирование только высокомолекулярных соединений (белки, липиды), а основная часть низкомолекулярных компонентов переходит в фильтрат.

По мнению многих исследователей, механизм переноса вещества через полупроницаемую мембрану описывается капиллярной диффузией и аналогичен механизму процесса микрофильтрации.

Основные характеристики ультрафильтрационного процесса определяются селективностью и проницаемостью применяемых мембран. Под селективностью мембраны понимается её способность иметь различную проницаемость по различным компонентам разделяемой системы. При ультрафильтрации обезжиренного молока обычно учитывается селективность мембран по белку, лактозе и жиру. Селективность мембран определяют по формуле:

$$S = (1 - C_2 / C_1) * 100, \quad (6.1)$$

где: C_1 – концентрация компонента в исходном сырье;

C_2 – концентрация компонента в ультрафильтрате.

Таким образом, селективность мембраны зависит, главным образом, от размера её пор.

Проницаемость мембраны – способность пропускать в процессе фильтрации ионы того или иного вещества. Характеризуются мембраны обычно удельной проницаемостью по фильтрату. Определяется она количеством раствора, прошедшим через единицу поверхности мембраны в единицу времени, $\text{м}^3 / (\text{м}^2 * \text{ч})$:

$$J = M / (S * t), \quad (6.2)$$

где M – объем фильтрата, получаемый за определенный промежуток времени, м^3 ;

S – суммарная рабочая поверхность мембран, м^2 ;

t – продолжительность обработки, ч.

Проницаемость зависит как от свойства мембран (размера пор и их числа), так и от параметров процесса – давления и вязкости фильтруемой жидкости. Вязкость обрабатываемого сырья зависит от его температуры. Таким образом, скорость процесса ультрафильтрации можно регулировать

путем изменения температуры и давления. При обработке молочного сырья рекомендуется применять следующие режимы: температура – не выше 50 – 55 °С и давление – 0,3 – 0,4 МПа. При более высоких температурах может произойти изменение свойств компонентов молока. Это нежелательно, так как ультрафильтрация – один из немногих процессов, позволяющих осуществить фракционирование молочного сырья без изменения его нативных свойств.

Использование высоких давлений при ультрафильтрации не рекомендуется по двум причинам: может произойти разрушение мембран или явление концентрационной поляризации. В процессе ультрафильтрации молочного сырья на поверхности мембраны образуется так называемый «гелевый слой». Он состоит главным образом из высокомолекулярных компонентов в комплексе с минеральными веществами. Происходит взаимодействие этого слоя с мембраной, что приводит к частичной или полной закупорке её пор, снижая производительность ультрафильтрационного процесса. Это явление и получило название концентрационной поляризации.

Увеличение давления приводит к уплотнению гелевого слоя, в результате чего проницаемость мембраны может резко снижаться. Концентрационная поляризация – явление крайне нежелательное. Для борьбы с ним предложены различные меры: введение турбулизаторов потока, изменение гидродинамических условий процесса за счет увеличения скорости потока жидкости над мембраной, изменение конструктивных решений ультрафильтрационных установок, создание протеиноотталкивающих мембран и др.

По окончании рабочего цикла ультрафильтрационных установок проводится их мойка и регенерация мембран. Для мойки используют специально подготовленную умягченную воду, ферментные препараты, а также растворы кислот и щелочей. Мойку осуществляют по специально разработанным схемам. Схема мойки зависит от типа применяемых мембран.

Основными требованиями к полупроницаемым мембранам при ультрафильтрации молочного сырья являются: нетоксичность, высокая

проницаемость, высокая селективность по белку и жиру и малая – по лактозе, высокая механическая прочность, а также термоустойчивость и микробиологическая стойкость.

В настоящее время создано уже три поколения ультрафильтрационных мембран. Мембраны первого поколения изготавливают из растворов ацетатцеллюлозы. Их представителями являются мембраны типа УАМ. Они обладают хорошими селективными свойствами и просты в изготовлении. Недостаток этих мембран: не могут работать в кислой и сильно щелочной среде, а также при температурах выше 55 °С. Мойку таких мембран проводят только растворами ферментов, что сложно и дорого.

Мембраны второго поколения созданы на основе синтетических полимерных материалов (полисульфона, полиамида и др.). Типичными представителями являются мембраны типа УПМ-П. Селективность по белку у них выше, чем у УАМ. Они могут работать при температурах от 0 до 100 °С и рН от 1 до 12, обладают высокой механической прочностью, а для мойки можно использовать синтетические моющие средства.

Объединенным институтом ядерных исследований разработаны ядерные фильтры с различным диаметром пор. Получают их путем облучения тонких полимерных пленок заряженными частицами. Преимущества таких мембран – высокие прочностные свойства, широкий диапазон рН (1 – 14) и температуры (0 – 100 °С), а также отсутствие допустимых и критических давлений.

Представители третьего поколения – минеральные мембраны. Они представляют собой углеродные трубки с нанесенным фильтрующим слоем оксида циркония. Выпускают мембраны с различным размером пор. Они устойчивы к температурам до 300 °С и рН до 14.

Перспективными для ультрафильтрации биологических объектов являются мембраны в виде полых волокон и трубчатые ультрафильтры. Для

осуществления процессов ультрафильтрации применяют четыре типа аппаратов, отличающихся формой фильтрующей поверхности:

- с трубчатыми фильтрующими элементами, имеющие цилиндрические мембраны, расположенные внутри или сверху поддерживающих труб;
- рулонные, образованные путем намотки мембраны вокруг трубы;
- с плоскими фильтрующими элементами, которые образованы из плоских мембран и по своей конструкции аналогичны фильтр-прессу;
- с полыми волокнами, в которых мембраны образованы из трубок капиллярного сечения.

Выбирают ультрафильтрационные установки с учетом свойств обрабатываемого сырья и поставленными задачами. Для обработки биологических жидкостей типа обезжиренного молока разработаны ультрафильтрационные установки типа фильтр-пресс:

- А1-ОУС – для сыворотки производительностью 5000 л/ч;
- А1-ОУП – для сыворотки производительностью 2000 л/ч;
- А1-ОУВ – для молока производительностью 2000 л/ч.

3. Аппаратура и материалы:

Лабораторная ультрафильтрационная установка, рефрактометр, титровальная установка, баня водяная, термометры; раствор гидроксида натрия 0,1 н, 40 %-й раствор формалина, 1 %-й спиртовой раствор фенолфталеина, цилиндры на 100 – 500 см³, пипетки на 10 см³, прибор для отмеривания раствора формалина на 1 см³.

4. Указания по технике безопасности

При выполнении исследований следует соблюдать общие правила техники безопасности, рассмотренные в методических указаниях к выполнению лабораторной работы 1. Особенное внимание следует уделить правилам работы с растворами щелочей и формалина. Перед началом работы с лабораторной ультрафильтрационной установкой ознакомиться с правилами ее эксплуатации. Категорически запрещается отбирать образцы проб для анализов при работе установки. Перед отбором проб следует обесточить

установку. Работу с установкой осуществлять только под контролем преподавателя или лаборанта!

5. Методика и порядок выполнения работы

1. По литературным источникам изучить устройство ультрафильтрационных установок (фильтр-пресс; трубчатая; рулонная; с полыми волокнами). Выполнить принципиальные схемы перечисленных типов ультрафильтрационных установок.

Изучить устройство лабораторной ультрафильтрационной установки, вычертить схему; привести описание работы.

2. Подгруппа разбивается на 3 – 4 бригады. Порядок выполнения работы.

1. В исходном молочном сырье (обезжиренном молоке или молочной сыворотке) определяют следующие показатели:

- массовую долю сухих веществ рефрактометрическим методом;
- массовую долю белка методом формольного титрования;
- титруемую кислотность.

2. Образцы молочного сырья объемом 1 дм³ нагревают до температуры 20, 30, 40, 50 оС (по заданию преподавателя) и обрабатывают на ультрафильтрационной установке в течение 20 – 30 минут. В процессе работы с интервалом в 3 – 5 минут измеряют объем выделившегося фильтрата и отбирают образцы фильтрата объемом 15 – 20 см³ для определения массовой доли сухих веществ и титруемой кислотности.

3. По завершении процесса ультрафильтрации измеряют суммарный объем выделившегося фильтрата и концентрата, массовую долю сухих веществ и белка в концентрате.

4. Проводят ополаскивание и мойку ультрафильтрационной установки.

3. Для каждой контрольной точки рассчитать по формулам (6.1) и (6.2) селективность (по сухим веществам) и проницаемость мембран. Для оценки влияния технологических факторов на процесс ультрафильтрации рассчитывают степень перехода сухих веществ и белка в концентрат. Результаты исследований и расчетов заносят в таблицы 6. 1. и 6. 2.

Таблица 1 – Результаты исследований процесса ультрафильтрации

Показатели	Номера образцов				
Температура сырья, °С					
Продолжительность обработки, мин					
Массовая доля сухих веществ в фильтрате, %					
Объем фильтрата, м ³					
Селективность мембран по СВ, %					
Проницаемость мембран, м ³ /(м ² ·ч)					

Таблица 2 – Анализ эффективности процесса ультрафильтрации

Показатели	Температура сырья, °С			
	20	30	40	50
Массовая доля сухих веществ, %: - в исходном сырье; - в фильтрате; - в концентрате				
Массовая доля белка, %: - в исходном сырье; - в фильтрате; - в концентрате				
Селективность мембран по СВ, % (по завершении фильтрации)				
Проницаемость мембран, м ³ / (м ² ·ч) (по завершении фильтрации)				
Степень перехода в концентрат: - сухих веществ; - белка				

4. По экспериментальным данным и результатам расчетов построить графики зависимостей:

- массовой доли сухих веществ от продолжительности фильтрации;
- селективности мембран по сухим веществам от продолжительности фильтрации;
- проницаемости мембран от продолжительности фильтрации;
- селективности мембран по сухим веществам от температуры фильтрации;
- проницаемости мембран от температуры фильтрации;
- степени перехода белка и сухих веществ в концентрат от температуры фильтрации.

6. Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- титульный лист;

- цель и алгоритм выполнения работы;
- теоретическое обоснование проводимых исследований;
- схемы и описание устройства изученных типов ультрафильтрационных установок;
- методику проведения экспериментальных исследований;
- результаты исследований, графические зависимости;
- выводы.

7. Контрольные вопросы и защита работы:

1. Применение метода мембранной фильтрации в биотехнологии и технологии пищевых производств;
2. Классификация процессов мембранной фильтрации;
3. Типы полупроницаемых мембран;
4. Конструкции промышленных аппаратов для ультрафильтрации биологических жидкостей;
5. Устройство и принцип действия лабораторной ультрафильтрационной установки;
6. Показатели, характеризующие эффективность процесса ультрафильтрации;
7. Влияние технологических факторов на эффективность процесса ультрафильтрации молочного сырья.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №14. ВАКУУМ-ВЫПАРНЫЕ УСТАНОВКИ

1. Цель и содержание работы

Изучить теоретические основы процесса концентрирования жидкостей; познакомиться с устройством различных типов промышленных вакуум-выпарных установок; провести расчет и подбор трехкорпусной вакуум-выпарной установки для концентрирования культуральной жидкости согласно индивидуальному заданию.

2. Теоретическое обоснование

Для концентрирования культуральных жидкостей применяют различные вакуум-выпарные установки. Классифицировать их можно следующим образом:

- по принципу действия - периодического и непрерывного действия;
- по использованию вторичного пара - с использованием вторичного пара (с термо- и турбокомпрессорами) и без использования вторичного пара;
- по числу корпусов - однокорпусные и много корпусные;
- по греющему агенту - с паровым, аммиачным и фреоновым обогревом;
- по виду кипения продукта - в толстом и тонком слое (пленочные);
- по форме греющих поверхностей - с трубчатыми и пластинчатыми калоризаторами.

Для упаривания дрожжевой суспензии, культуральных жидкостей, содержащих лизин и другие термолабильные препараты, наиболее часто применяют трехкорпусные вакуум-выпарные установки. Состоят они из трех последовательно соединенных однокорпусных аппаратов со стекающей пленкой. В качестве теплоносителя используют водяной пар низкого давления. Первый корпус установки обогревается паром из паровых котлов, а обогрев каждого последующего корпуса осуществляется вторичным паром из предыдущего корпуса. В таких установках первый корпус работает под избыточным давлением, а остальные - под разрежением. Благодаря этому снижается удельный расход греющего пара. Так для однокорпусной

выпарной установки удельный расход пара составляет 1,0-1,1 кг на кг выпаренной воды, двухкорпусной - 0,57, трехкорпусной - 0,4, четырехкорпусной - 0,3 и пятикорпусной - 0,27 кг на 1 кг выпаренной воды. Однако с увеличением корпусов возрастают температурные потери, уменьшается полезная разность температур между корпусами, а также могут создаваться условия, ухудшающие качество обрабатываемых продуктов. Поэтому число корпусов для каждого продукта должно иметь определенный предел, обеспечивающий сохранение качества продукта при выбранных режимах выпаривания.

Трехкорпусная вакуум-выпарная установка (рис. 1) состоит из испарителей 1, 7 и 8 соответственно первой, второй и третьей ступеней, трех брызгоотделителей 4, труб для отвода вторичного пара 3, насоса для перекачки сгущаемого продукта 6, поверхностного конденсатора 9, водокольцевого вакуум-насоса 10 для откачивания несконденсированных газов из испарителей через штуцера 2, штуцеров 5 для вывода упаренного раствора из испарителей и брызгоуловителей.

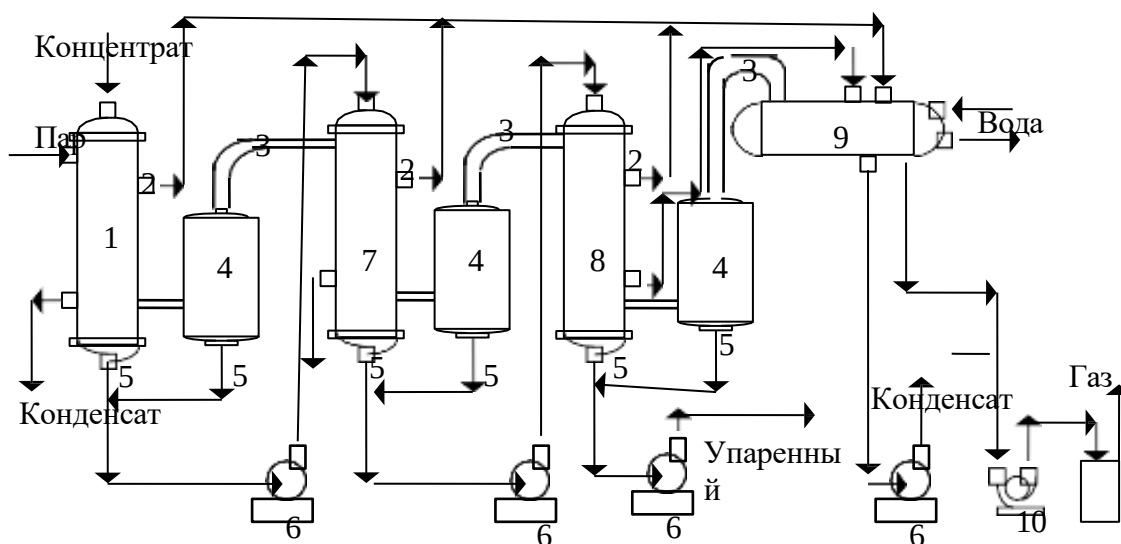


Рисунок 1. Трехкорпусная установка для упаривания культуральной жидкости: 1 - испаритель первой ступени; 2 - штуцера для отсоса газов; 3 - трубы для вторичного пара, 4 - брызгоотделители; 5 - выход упаренного концентрата; 6 - насосы; 7 - испаритель второй ступени; 8 - испаритель

третьей ступени; 9 - поверхностный конденсатор; 10 - водокольцевой вакуумный насос.

Расчет трехкорпусной вакуум-выпарной установки

Расчет выпарной установки заключается в определении площади поверхности нагрева корпусов установки при выбранных условиях теплового режима работы. Тепловой режим и тип установки выбирают с учетом свойств выпариваемой среды. Для определения тепловых нагрузок, коэффициентов теплопередачи и полезных разностей температур необходимо определить количество упариваемой воды, концентрацию растворов и температуру кипения в каждом корпусе. При расчетах вакуум-выпарных установок важное значение имеет материальный баланс, который выражается следующим уравнением:

$$G_n \cdot B_n = (G_n - W) \cdot B_k = G_k \cdot B_k, \quad (1)$$

где G_n - количество исходного продукта, кг.; G_k - количество готового продукта, кг.; B_n - содержание сухих веществ в исходном продукте, %; B_k - содержание сухих веществ в готовом продукте, % ; W - количество испаренной влаги (вторичных паров), кг.

Из уравнения (1) легко рассчитать количество выпаренной воды или производительность выпарной установки по выпаренной воде (W), кг / с:

$$W = G_n \cdot \frac{(B_k - B_n)}{B}, \text{ кг / с} \quad (2)$$

k

Общее количество испаренной воды из трех корпусов равно сумме количеств выпаренной воды из каждого корпуса:

$$W = W_1 + W_2 + W_3. \quad (3)$$

Соотношение выпариваемой воды по корпусам можно принять следующее: $W_1 : W_2 : W_3 = 1 : 1,1 : 1,2$. Тогда из уравнения (3) легко найти выпаренную влагу в каждом корпусе:

$$W_1 = W \cdot 1,0 / (1 + 1,1 + 1,2), \quad (4)$$

$$W_2 = W \cdot 1,1 / (1 + 1,1 + 1,2), \quad (5)$$

$$W_3 = W \cdot 1,2 / (1 + 1,1 + 1,2), \quad (6)$$

Материальный баланс сухих веществ:

для первого корпуса -

$$G_n \cdot B_n / 100 = (G_n - W_1) \cdot B_{k1} / 100, \quad (7)$$

для двухкорпусной установки -

$$G_n \cdot B_n / 100 = (G_n - W_1 - W_2) \cdot B_{k2} / 100, \quad (8)$$

для трехкорпусной установки -

$$G_n \cdot B_n / 100 = (G_n - W_1 - W_2 - W_3) \cdot B_k / 100, \quad (9)$$

где B_{k1} и B_{k2} - концентрации упаренного раствора после первого и второго корпусов, %

Конечная концентрация раствора (%) после первого корпуса:

$$B_{k1} = G_n \cdot B_n / (G_n - W_1), \quad (10)$$

Конечная концентрация раствора (%) после второго корпуса:

$$B_{k2} = G_n \cdot B_n / (G_n - W_1 - W_2), \quad (11)$$

Конечная концентрация раствора (%) после третьего корпуса:

$$B_{k3} = B_k = G_n \cdot B_n / (G_n - W_1 - W_2 - W_3), \quad (12)$$

При упаривании происходит увеличение вязкости и плотности раствора, что снижает коэффициент теплопередачи. При расчетах коэффициенты можно принимать по экспериментальным данным, либо их определяют по известным показателям выпариваемой среды. Для упрощения расчетов можно использовать ориентировочное соотношение коэффициентов теплопередачи по корпусам: $K_1 : K_2 : K_3 = 1 : (0,7...0,8) : (0,4...0,6)$.

Коэффициент теплопередачи для первого корпуса зависит от типа выпарной конструкции аппарата и может быть выбран из таблицы 1 приложения А.

Тепловые нагрузки по корпусам составят:

$$Q_1 = W_1 \cdot r_1, \quad (13)$$

$$Q_2 = W_2 \cdot r_2, \quad (14)$$

$$Q_3 = W_3 \cdot r_3, \quad (15),$$

где r_1, r_2, r_3 - скрытая теплота парообразования греющего или вторичного пара, соответственно в первом, втором и третьем корпусах кДж \ кг. Для её определения можно воспользоваться данными таблицы 2 приложения А.

Суммарная полезная разность температур ($^{\circ}\text{C}$) может быть определена по формуле:

$$\Delta t_n = t_{\text{гп.н}} - t_{\text{см.н.3}} - \sum \Delta t_{\text{ном}}, \quad (16)$$

где $t_{\text{см.н.3}}$ - температура вторичного пара в последнем корпусе, $^{\circ}\text{C}$; $\sum \Delta t_{\text{ном}}$ - суммарные потери температуры по корпусам, $^{\circ}\text{C}$ (принимаются 4...7 $^{\circ}\text{C}$).

С повышением полезной разности температур эффективность теплообмена увеличивается. В вакуум-выпарных установках с термокомпрессией полезная разность температур при сгущении составляет 15...25 $^{\circ}\text{C}$. При снижении полезной разности температур, а в отдельных случаях и повышении, уменьшается интенсивность циркуляции жидкости в калоризаторе, а, следовательно, и коэффициент теплопередачи. В некоторых вакуум-выпарных установках (например, мешалочных типа “Люва”) полезная разность температур составляет около 80 $^{\circ}\text{C}$. В отдельных корпусах многокорпусных аппаратов полезная разность температур может быть 8...12 $^{\circ}\text{C}$.

Если принять, что площади поверхностей нагрева F (м^2) всех корпусов равны между собой, то полезные разности температур Δt_n ($^{\circ}\text{C}$) для каждого корпуса можно определить по формуле:

$$\Delta t_{n1} = \frac{\Delta t_n \cdot Q_1 / K_1}{\frac{Q_1}{K_1} + \frac{Q_2}{K_2} + \frac{Q_3}{K_3}}, \quad (17)$$

$$\Delta t_{n2} = \frac{\Delta t_n \cdot Q_2 / K_2}{\frac{Q_1}{K_1} + \frac{Q_2}{K_2} + \frac{Q_3}{K_3}}, \quad (18)$$

$$\Delta t_{n3} = \frac{\Delta t_n \cdot Q_3 / K_3}{\frac{Q_1}{K_1} + \frac{Q_2}{K_2} + \frac{Q_3}{K_3}}, \quad (19)$$

Тогда расчетные площади поверхности нагрева (м^2) в корпусах определяем по формулам:

$$F_{p1} = Q_1 / (K_1 \cdot \Delta t_{n1}), \quad (20)$$

$$F_{p2} = Q_2 / (K_2 \cdot \Delta t_{n2}), \quad (21)$$

$$F_{p3} = Q_3 / (K_3 \cdot \Delta t_{n3}), \quad (22)$$

Выбор выпарного аппарата производят по максимальной расчетной (Гр.м.) площади поверхности нагрева, которая больше расчетной на 20...30 %.

После выбора аппарата по максимальной площади нагрева рассчитывают фактическую производительность вакуум-выпарной установки (кг \ с):

$$G_{\phi} = G_n \cdot F_{\phi} / F_{p.m.}, \quad (23)$$

Расход греющего пара, (кг / ч) :

$$D_{ep.n} = W_1 \cdot F_{\phi} / F_{p.m.}, \quad (24)$$

Удельный расход греющего пара, (кг / кг):

$$d = D_{ep.n} / W, \quad (25)$$

Расход тепла в подогревателе среды, (кДж / ч):

$$Q_n = 3600 \cdot G_{\phi} \cdot c \cdot (t_2 - t_1), \quad (26)$$

где c - удельная теплоемкость среды, подаваемой в подогреватель, кДж / (кг · К); t_1 и t_2 - температура среды, поступающей в подогреватель и выходящей из подогревателя, °С.

Количество пара (кг / с), поступающего в конденсатор из третьего корпуса:

$$D = W_3 \cdot F_{\phi} / F_{p.m.}, \quad (27)$$

3. Аппаратура и материалы

Лабораторная установка, линейка, штангельциркуль.

4. Указание по технике безопасности

При проведении замеров соблюдать осторожность, не допускать падение узлов и деталей установки.

5. Методика и порядок выполнения работы

Каждый студент выполняет расчеты самостоятельно в соответствии с методическими указаниями и индивидуальным заданием.

Пример. Подобрать вакуум-выпарной аппарат для концентрирования питательной среды после синтеза в ней кормового дрожжевого белка производительностью по исходной среде 5 кг / с. Начальная концентрация сухих веществ в жидкости 10 %, конечная концентрация сухих веществ в сгущенном продукте - 42 %.

Исходные данные для расчета:

1. Производительность по исходной среде $G_n = 5,0$ кг / с
2. Начальная концентрация сухих веществ в среде $B_n = 10$ %
3. Конечная концентрация сухих веществ в среде $B_k = 42$ %

Из уравнения материального баланса (1) определяем производительность установки по выпаренной воде (W , кг / с):

$$W = G_n \cdot (1 - B_n / B_k) = 5 \cdot (1 - 10 / 42) = 3,8 \text{ кг / с}$$

Общее количество выпаренной воды состоит из суммы выпаренной воды в каждом корпусе: $W = W_1 + W_2 + W_3$. Принимаем соотношение выпаренной воды по корпусам: $W_1 : W_2 : W_3 = 1 : 1,1 : 1,2$.

Воду, выпаренную в первом корпусе, определяем по уравнению (4):

$$W_1 = 3,8 \cdot 1,0 / (1 + 1,1 + 1,2) = 1,15 \text{ кг / с}$$

Воду, выпаренную во втором корпусе, определяем по уравнению (5):

$$W_2 = 3,8 \cdot 1,1 / (1 + 1,1 + 1,2) = 1,27 \text{ кг / с}$$

Воду, выпаренную в третьем корпусе, определяем по уравнению (6):

$$W_3 = 3,8 \cdot 1,2 / (1 + 1,1 + 1,2) = 1,38 \text{ кг / с}$$

Концентрацию упаренного раствора после первого корпуса определяем, используя формулу материального баланса (7), по формуле (10):

$$B_{k1} = 5 \cdot 10 / (5 - 1,15) = 13,0 \text{ \%}$$

Концентрацию упаренного раствора после второго корпуса определяем, используя формулу материального баланса (8), по формуле (11):

$$B_{к2} = 5 \cdot 10 / (5 - 1,15 - 1,27) = 19,4 \text{ \%}.$$

Конечную концентрацию раствора определяем по формуле (12):

$$B_{к} = 5 \cdot 10 / (5 - 1,15 - 1,27 - 1,38) = 41,7 \text{ \%}.$$

Соотношение коэффициентов теплопередачи по корпусам принимаем:

$$K_1 : K_2 : K_3 = 1 : 0,7 : 0,5$$

Для аппаратов циркуляционного типа с принудительной циркуляцией сгущаемого раствора по таблице 1 (приложение А) $K_1 = 2000 \text{ Вт} / (\text{ м}^2 \cdot \text{ К})$. Тогда $K_2 = 1400 \text{ Вт} / (\text{ м}^2 \cdot \text{ К})$, а $K_3 = 1000 \text{ Вт} / (\text{ м}^2 \cdot \text{ К})$.

Режимы сгущения по корпусам выбираем с учетом состава и свойств концентрируемой среды: первый корпус - 65°С ; второй корпус - 60°С ; третий корпус - 55°С . Температуру греющего пара в первом корпусе устанавливаем 85°С , во втором - 70°С , в третьем - 60°С .

По таблице 2 (приложение А) находим скрытую теплоту парообразования (r) для каждого корпуса:

$$r_1 = 2295 \text{ кДж} / \text{ кг}; r_2 = 2333 \text{ кДж} / \text{ кг}; r_3 = 2358 \text{ кДж} / \text{ кг}.$$

Рассчитаем тепловую нагрузку по корпусам, используя формулы (13), (14) и (15):

$$Q_1 = 1,15 \cdot 2295 = 2639 \text{ кДж} / \text{ с};$$

$$Q_2 = 1,27 \cdot 2333 = 2963 \text{ кДж} / \text{ с};$$

$$Q_3 = 1,38 \cdot 2358 = 3254 \text{ кДж} / \text{ с}.$$

Суммарно полезную разность по корпусам рассчитаем по формуле (16), приняв потери температуры по корпусам 6°С :

$$\Delta t_n = 85 - 60 - 6 = 19^\circ\text{С}.$$

Принимаем, что поверхности нагрева всех корпусов равны между собой. Тогда полезную разность температур определяем по формулам (17), (18) и (19):

$$\Delta t_{n1} = \frac{19 \cdot 2639 / 2,0}{2639 / 2,0 + 2963 / 1,4 + 3254 / 1,0} = 3,7 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{n2} = \frac{19 \cdot 2963 / 1,4}{2639 / 2,0 + 2963 / 1,4 + 3254 / 1,0} = 6,0 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{n3} = \frac{19 \cdot 3254 / 1,0}{2639 / 2,0 + 2963 / 1,4 + 3254 / 1,0} = 9,2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Определим расчетные площади поверхности нагрева по корпусам по формулам (20), (21) и (22):

$$F_{p1} = 2639 / (2,0 \cdot 3,7) = 356,6 \text{ м}^2;$$

$$F_{p2} = 2963 / (1,4 \cdot 6,0) = 352,7 \text{ м}^2;$$

$$F_{p3} = 3254 / (1,0 \cdot 9,2) = 353,7 \text{ м}^2.$$

Максимальную расчетную площадь поверхности нагрева получаем путем увеличения расчетной площади на 25 %:

$$F_{p.m.} = (356,6 + 352,7 + 353,7) \cdot 1,25 = 1330 \text{ м}^2.$$

Выбираем вакуум-выпарную установку по максимальной площади поверхности нагрева (предположим, что выбрали аппарат с поверхностью нагрева 1360 м^2).

Рассчитаем фактическую производительность вакуум-выпарной установки по формуле (23):

$$G_{\phi} = 5 \cdot 1360 / 1330 = 5,1 \text{ кг / с}.$$

Фактический расход греющего пара рассчитываем по формуле (24):

$$D_{гр.п.} = 1,15 \cdot 3600 \cdot 1360 / 1330 = 4233,4 \text{ кг / ч}$$

Удельный расход греющего пара определяем по формуле (25):

$$d = 4233,4 / 3,8 \cdot 3600 = 0,31 \text{ кг / кг}$$

Расход тепла в подогревателе для подогрева среды перед подачей её на сгущение рассчитываем по формуле (26):

$$Q_{\text{нод}} = 5,1 \cdot 4,078 \cdot 3600 \cdot (67 - 17) = 3743604 \text{ кДж / ч}$$

Количество пара, поступающего в конденсатор из третьего корпуса, рассчитываем по формуле (27):

$$D = 1,38 \cdot 1360 / 1330 = 1,41 \text{ кг / с.}$$

Характеристика вакуум-выпарной установки:

Производительность по исходной среде - 5,1 кг / с;

Производительность по выпаренной влаге - 3,8 кг / с;

Площадь поверхности нагрева аппарата - 1360 м²;

Расход греющего пара - 4233,4 кг / ч;

Удельный расход греющего пара - 0,31 кг / кг;

Расход тепла для подогрева среды - 3743604 кДж / ч

Количество пара, поступающего в конденсатор - 1,41 кг / с.

Индивидуальные задания

№№ п / п	Производительность аппарата по среде, кг / с	Характеристика процесса сгущения				
		1	2	3	4	5
1	0,5	14,0	44	22	60...50	4078
2	1,0	13,0	43	23	61...51	4070
3	1,5	12,0	42	24	62...52	4065
4	2,0	11,0	41	25	63...53	4060
5	2,5	10,0	40	26	64...54	4055
6	3,0	09,0	39	27	65...55	4050
7	3,5	08,0	38	28	66...55	4045
8	4,0	09,0	37	29	67...55	4040
9	4,5	10,0	36	30	67...56	4035
10	5,0	11,0	35	31	67...57	4030
11	5,5	12,0	34	32	67...58	4025
12	6,0	13,0	33	33	66...58	4020
13	6,5	14,0	32	34	66...57	4025
14	7,0	08,0	31	35	66...56	4030
15	6,5	09,0	32	34	66...55	4035
16	6,0	10,0	33	33	65...54	4040
17	5,5	11,0	34	32	65...55	4045
18	5,0	12,0	35	31	65...56	4050
19	4,5	13,0	36	30	65...57	4055
20	4,0	14,0	37	29	64...56	4060
21	3,5	13,0	38	28	64...55	4065
22	3,0	12,0	39	27	64...54	4070
23	2,5	11,0	40	26	64...53	4075

24	2,0	10,0	41	25	64...52	4080
----	-----	------	----	----	---------	------

Примечание: Показатели, характеризующие процесс сушки:

- 1 - Массовая доля сухих веществ начальная, %;
- 2 - Массовая доля сухих веществ конечная, %;
- 3 - Температура среды, идущей на сгущение, °С;
- 4 - Температура выпаривания, °С;
- 5 - Теплоемкость среды, Дж / (кг · К).

6. Содержание отчета и его форма

Отчет о работе оформляется в соответствии с требованиями, изложенными в методических указаниях, и включает в себя:

- цель работы;
- теоретическую часть, в которой излагаются основы процесса концентрирования культуральных жидкостей; факторы, влияющие на процесс выпаривания воды; типы применяемых вакуум-выпарных установок и их характеристика; требования к вакуум-выпарным установкам;
- расчетную часть, выполненную по приведенной методике и в соответствии с индивидуальным заданием.

7. Контрольные вопросы

1. Какова классификация промышленных вакуум-выпарных установок?
2. Каковы основные требования к вакуум-выпарным установкам?
3. Каковы преимущества многокорпусных аппаратов ?
4. В чем заключается сущность естественной циркуляции в выпарных аппаратах?
5. Каковы преимущества принудительной циркуляции при сгущении жидкостей?
6. С какой целью и как осуществляется пеногашение в процессе сгущения?
7. Каковы способы экономии тепла при сгущении?
8. В чем сущность расчета и подбора вакуум-выпарной установки?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 15. РАСЧЕТ И ПОДБОР ВАЛЬЦОВЫХ СУШИЛОК

1. Цель и содержание работы

Изучить теоретические основы процесса сушки биологических объектов; познакомиться с устройством различных типов промышленных сушильных установок; провести расчет и подбор вальцовой сушильной установок для сушки культуральной жидкости согласно индивидуальному заданию.

2. Теоретическое обоснование

Сушильные установки, применяемые в пищевой промышленности, можно разделить на установки для сушки жидких продуктов - барабанные или вальцовые (атмосферные, вакуумные, одно- и двухвальцовые), распылительные (с дисковым и форсуночным распылением, с рукавными фильтрами и циклонной очисткой отработанного воздуха) и для сушки твердых продуктов - шкафные атмосферные и вакуумные, барабанные, ленточные, туннельные и шахтные.

Вальцовые сушилки используют при получении белковых микробных препаратов. Процесс сушки в таких аппаратах происходит в результате соприкосновения биомассы с горячей поверхностью вращающегося вальца (барабана). По конструкции эти сушилки бывают одно- и двухвальцовые. В производстве кормовых дрожжей чаще применяются двухвальцовые сушилки. Основным рабочим органом сушилки являются вальцы, изготовленные из специального чугуна. Каждый барабан закрыт с торцов крышками. Барабаны устанавливаются строго параллельно на общей литой чугунной станине. Через полуоси, имеющие центральные отверстия, в барабаны с одной стороны поступает пар давлением 0,3-0,4 МПа, а с другой через специальную трубку отводится конденсат. Сверху у торцов барабанов устанавливаются клинья, которые способствуют образованию между барабанами ванны, в которую непрерывно поступает концентрат

биомассы. Концентрат нагревается до температуры 100 °С, при этом часть влаги из него испаряется. Барабаны вращаются навстречу один другому и клеточная биомасса намазывается на их поверхность тонким слоем. За две трети оборота барабана пленка биомассы успевает высохнуть до влажности 8-10 %. Сухая пленка снимается с поверхности барабана специальными ножами, укрепленными вместе с прижимными устройствами, и осыпается в продольные шнеки и через систему транспортных средств направляется на дробление и расфасовку. На 1 кг испаряемой влаги расходуется около 1,7 кг пара.

3. Методика и порядок выполнения работы

Материальный баланс для вальцовых сушилок выражается уравнением:

(1)

$$M_1 \cdot S_1 = (M_1 - W) \cdot S_2 = M_2 \cdot S_2,$$

где M_1 - масса исходного продукта, кг; M_2 - масса готового продукта, кг; W - масса испаренной влаги, кг; S_1 - массовая доля сухих веществ в исходном продукте, %; S_2 - массовая доля сухих веществ в готовом продукте, %.

Производительность сушилки по испаренной влаге (кг / ч) можно определить по формуле:

$$W = (M_1 \cdot S_2 - M_1 \cdot S_1) / S_2,$$

(2)

Производительность сушилки по готовому продукту (кг / ч) можно определить по формуле:

$$M_2 = M_1 \cdot S_1 / S_2,$$

(3)

Напряженность поверхности нагрева T (кг / м² · ч) определяют по формуле:

$$T = W / F,$$

(4)

где F - рабочая поверхность вальцов, м².

Напряженность для различных вальцевых сушилок составляет: 40 90 кг / (м² · ч). Выбрав для сушилки показатель напряженности, легко рассчитать рабочую поверхность вальцов, м²:

$$F_p = W / T, \quad (5)$$

От момента нанесения смеси для сушки до снятия готового продукта поверхность вальцов может составлять от 300 до 180 градусов. Тогда общая поверхность вальцов может существенно меняться. Рассчитать её можно по следующей формуле:

$$F_o = F_o \cdot 360 / \alpha, \quad (6)$$

где α - угол нахождения продукта на вальце, °.

Тепловой баланс сушильной установки можно выразить следующим уравнением:

$$Q = Q_m + Q_{исп} + Q_n + Q_z, \quad (7)$$

где Q - количество теплоты, затраченное на сушку, кДж; Q_m - количество теплоты, расходуемой на подогрев исходного продукта до температуры сушки, кДж; $Q_{исп}$ - количество теплоты, расходуемое на испарение влаги, кДж; Q_n - теплота потерь, кДж; Q_z - теплота, уносимая готовым продуктом, кДж.

Тепло, затраченное на подогрев продукта, определяем по формуле:

$$Q_m = G \cdot c \cdot (t_{исп} - t_n), \quad (8)$$

где G - масса высушиваемого продукта, кг / ч ; c - теплоемкость высушиваемого продукта, кДж / (кг · К); t_n - начальная температура продукта, °С; $t_{исп}$ - температура сушки, °С.

Количество теплоты, затраченной на испарение влаги, определяем по формуле:

$$Q_{исп} = W \cdot r, \quad (9)$$

где W - масса испаренной влаги, кг / ч ; r - теплота парообразования при температуре сушки, кДж / кг.

Приближенные потери тепла в окружающую среду определяем по формуле:

$$Q_n = \mu \cdot F_o \cdot (t_{cp.cm} - t_{возд}), \quad (10)$$

где μ - средний коэффициент теплоотдачи от вальцов к воздуху, Вт / ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$), (можно принять $= 12...15 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$); F_o - общая поверхность вальцов, м^2 ; $t_{cp.cm}$ - средняя температура стенок вальцов, равная температуре сушки или испарения, $^{\circ}\text{C}$; $t_{возд}$ - температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Количество теплоты, уносимое готовым продуктом, определяем по формуле:

$$Q_z = G_z \cdot c_z \cdot t_z, \quad (11)$$

где G_z - масса готового продукта, кг; c_z - удельная теплоемкость готового продукта, кДж / (кг $\cdot$ К); t_z - температура готового продукта, $^{\circ}\text{C}$.

Расход пара для вальцовых сушилок определяют по формуле:

$$D = Q / (i_n - i_k), \quad (12)$$

где i_n - энтальпия греющего пара, кДж / кг; i_k - энтальпия конденсата, кДж / кг.

Удельный расход пара на 1 кг испаренной влаги определяем по формуле:

$$D_{yd} = D / W, \quad (13)$$

4 Содержание отчета и его форма

- Отчет о расчетно-проектной работе оформляется в соответствии с требованиями, изложенными в методических указаниях по курсовому проектированию, и включает в себя:
- цель работы;
- теоретическую часть, в которой излагаются основы процесса сушки культуральных жидкостей; факторы, влияющие на процесс сушки; типы применяемых сушильных установок и их характеристика; требования к сушильным установкам различного типа;

- расчетную часть, выполненную по приведенной методике и в соответствии с индивидуальным заданием.

5 Контрольные вопросы

1. Какова классификация промышленных установок для сушки биологических объектов ?
2. Каковы основные требования к сушильным установкам ?
3. Каковы преимущества вальцовых сушилок ?
4. В чем заключается сущность процесса удаления влаги в сублимационных сушилках?
5. Каковы преимущества вальцовых сушилок?
6. С какой целью и как осуществляется очистка воздуха перед его нагреванием и использованием для сушки?
7. Каковы способы экономии тепла при сушке?
8. В чем сущность расчета и подбора сушильных установок ?

Пример. Рассчитать и подобрать вальцовую сушилку производительностью 250 кг суспензии биомассы с массовой долей сухих веществ 20 %.

Исходные данные для расчетов:

Производительность сушилки по исходному продукту - 250 кг / ч;

Массовая доля сухих веществ в исходном продукте - 20 %;

Массовая доля веществ в готовом продукте - 90 %;

Температура продукта перед сушкой - 50 °С;

Температура воздуха в цехе - 35 °С;

Температура испарения - 101 °С;

Температура греющего пара - 140 °С;

Температура конденсата - 125 °С.

Из уравнения материального баланса (1) определяем производительность сушилки по испаренной влаге по формуле (2) и готовому продукту по формуле (3):

$$M_2 = 250 \cdot 20 / 90 = 55,6 \text{ кг / ч}$$

$$W = (250 \cdot 90 - 250 \cdot 20) / 90 = 194,4 \text{ кг / ч}$$

Рабочую поверхность вальцов определяем по формуле (5), приняв напряженность поверхности нагрева $T = 50 \text{ кг / (м}^2 \cdot \text{ч)}$,:

$$F_p = 194,4 / 50 = 3,9 \text{ м}^2.$$

Примем, что угол нахождения продукта на вальце составляет 300° . Тогда общую поверхность вальцов определяем по формуле (6):

$$F_o = 3,9 \cdot (360 / 300) = 4,7 \text{ м}^2.$$

Теплоту, затраченную на сушку продукта, определяем из теплового баланса по формуле (7), предварительно определив количество теплоты Q_m , расходуемой на подогрев исходного продукта до температуры сушки, по формуле (8), затраты тепла на испарение влаги $Q_{исп}$ по формуле (9), потери тепла в окружающую среду $Q_{ном}$ по формуле (10), тепло, уносимое с готовым продуктом, Q_z по формуле (11).

$$Q_m = 250 \cdot 2,9 (101 - 50) = 36975 \text{ кДж}$$

$$Q_{исп} = 194,4 \cdot 2254 = 438178 \text{ кДж}$$

$$Q_{ном} = 15 \cdot 4,7 (101 - 35) = 4853 \text{ кДж}$$

$$Q_z = 55,6 \cdot 2,1 \cdot 101 = 11793 \text{ кДж}$$

$$Q = 36975 + 438177,6 + 4953 + 11793 = 491799 \text{ кДж}$$

Расход пара на сушку определяем по формуле (12):

$$D = 491799 / (2734 - 525) = 222,6 \text{ кг / ч}$$

Удельный расход пара на 1 кг испаренной влаги определяем по формуле (13):

$$D_{уд} = 222,6 / 194,4 = 1,15 \text{ кг / кг}$$

Характеристика выбранного сушильного агрегата:

Тип сушиллки - двухвальцовая;

Общая поверхность нагрева вальцов - 4,7 м²;

Рабочая поверхность нагрева вальцов -3,9 м²;

Производительность по испаренной влаге - 194,4 кг / ч;

Производительность по готовому продукту - 55,8 кг / ч;

Расход пара - 222,6 кг / ч;

Удельный расход пара на 1 кг испаренной влаги - 1,15 кг / кг.

Индивидуальные задания по вальцовым сушилкам

№№ п / п	Производитель ность сушилки по среде, кг / с	Характеристика процесса сушки				
		м.д. СВ нач., %	м.д. СВ кон., %	тем-ра сред. °С	т-ра вып °С	тепловое Дж/(кг·К)
1	500	18	90	22	101	1778
2	450	20	91	23	100	1770
3	400	22	92	24	99	1765
4	350	24	91	25	98	1760
5	300	26	90	26	101	1755
6	250	28	92	27	100	1750
7	200	30	90	28	99	1745
8	500	16	91	29	98	1740
9	450	18	92	30	101	1735
10	400	20	90	31	100	1730
11	350	22	91	32	99	1725
12	300	24	92	33	98	1720
13	250	26	90	34	101	1725
14	200	28	91	35	100	1730
15	500	30	92	36	99	1735
16	450	32	93	37	98	1740
17	400	30	90	38	101	1745
18	350	28	91	39	100	1750
19	300	26	92	40	99	1755
20	250	24	93	41	98	1760
21	200	22	90	42	101	1765
22	500	20	91	43	100	1770
23	450	18	90	44	99	1775
24	400	16	91	45	98	1780

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 16. РАСЧЕТ И ПОДБОР РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ СУШИЛОК

1. Цель работы и содержание работы

Изучить теоретические основы процесса сушки биологических объектов; познакомиться с устройством различных типов промышленных сушильных установок; провести расчет и подбор распылительной сушильной установок для сушки культуральной жидкости согласно индивидуальному заданию.

2. Теоретическое обоснование

Сушильные установки, применяемые в пищевой промышленности, можно разделить на установки для сушки жидких продуктов - барабанные или вальцовые (атмосферные, вакуумные, одно- и двухвальцовые), распылительные (с дисковым и форсуночным распылением, с рукавными фильтрами и циклонной очисткой отработанного воздуха) и для сушки твердых продуктов - шкафные атмосферные и вакуумные, барабанные, ленточные, туннельные и шахтные.

Распылительные сушилки широко используются в пищевой промышленности для сушки самых разнообразных продуктов. В зависимости от способа взаимодействия сушильного агента с продуктом сушилки подразделяются на прямоточные, противоточные и смешанного типа. Прямоточные распылительные сушилки обладают рядом преимуществ:

- простота конструкции;
- возможность сушки термолабильных продуктов;
- исключается опасность перегрева частиц порошка;
- кратковременность пребывания в зоне высоких температур;
- интенсивное охлаждение в период постоянной скорости сушки за счет испарения влаги.
- Существуют два способа распыления исходного продукта в камере сушилки: пневматический через форсунки и центробежный через диски. Наиболее широко применяют центробежный способ распыления. Он имеет следующие преимущества:

- возможность распыления грубых суспензий и вязких растворов;
- равномерность распыления;
- надежность в работе;
- возможность регулирования производительности без существенного изменения дисперсности;
- небольшой расход электроэнергии.

Распылительная сушилка представляет собой цилиндрическую камеру с плоским или коническим днищем. В верхней части камеры расположен центробежный распылитель или пневматические форсунки. Камера оснащена взрывными клапанами и дверью для обслуживания сушильной камеры, устройствами для подачи и выгрузки продукта.

Источниками тепловой энергии может быть жидкое (газообразное) топливо, пар, а для установок с камерами объемом 0,9 м³ - электроэнергия.

В комплект оборудования распылительных сушильных установок также входят:

- оборудование для подготовки теплоносителя;
- циклоны для очистки отработанного теплоносителя;
- система управления;
- КИП и автоматика.

3. Методика и порядок выполнения работы

Материальный баланс сушильной установки выражают уравнением:

$$M_1 \cdot S_1 = (M_1 - W) \cdot S_2 = M_2 \cdot S_2, \quad (14)$$

где M_1 - масса исходного продукта, кг; S_1 - массовая доля сухих веществ в исходном продукте, %; W - масса испаренной влаги, кг; M_2 - масса готового продукта, кг; S_2 - массовая доля сухих веществ в готовом продукте, %.

Используя уравнение (1) данные о производительности сушилки по исходному продукту, можно определить производительность сушилки по готовому продукту или по испаренной влаге:

$$M_2 = M_1 \cdot S_1 / S_2, \quad (15)$$

$$W = (M_1 \cdot S_2 - M_1 \cdot S_1) / S_2. \quad (16)$$

Объем сушильной камеры определяют по формуле:

$$V = W / A, \text{ м}^3, \quad (17)$$

где A - напряжение единицы объема сушилки по испаренной влаге, кг / (м³ · ч). Напряжение объема сушилки по испаренной влаге зависит от температуры горячего воздуха:

t 100; 120; 130; 140; 150; 200;

A 2; 2,4; 2,8; 3,2; 3,6; 5,0;

Внутренний диаметр сушильной камеры определяют по формуле:

$$D = 1,05 \cdot \sqrt[3]{\frac{W}{A}}, \text{ м} \quad (18)$$

Соотношение высоты камеры и её диаметра принимают для форсуночных распылительных сушилок - 2,5 : 1,0; для сушилок с дисковым распылением - 1,2 : 1,0. Тогда высоту камеры определяем по формуле:

$$H = \kappa \cdot D, \text{ м} \quad (19)$$

где κ - коэффициент соотношения между высотой и диаметром.

Количество сухого воздуха, поступающего в башню, определяем по формуле:

$$L_c = 1000 \cdot W / (d_2 - d_1), \quad (20)$$

где L_c - масса сухого воздуха, поступающего в башню, кг / ч; d_1 - удельное влагосодержание исходного воздуха, г влаги / кг сухого воздуха; d_2 - удельное влагосодержание отработанного воздуха, г влаги / кг сухого воздуха.

Удельное влагосодержание как исходного, так и отработанного воздуха определяют по $I - D$ диаграмме. Исходными данными для определения удельного влагосодержания являются: температуры сухого и влажного термометра исходного воздуха, температуры воздуха, входящего в камеру и выходящего из камеры. При проведении расчетов можно принять температуру исходного воздуха по сухому термометру 15 °С, по влажному - 10 °С. Температуры воздуха на входе в сушильную камеру и на выходе из неё принимают с учетом типа сушилки и высушиваемого материала.

Объемный расход воздуха, поступающего в башню, определяем по формуле:

$$L_o = L_c \cdot v_o, \quad (21)$$

где v_o - удельный объем влажного воздуха, отнесенный к 1 кг сухого воздуха. Объем и масса воздуха связаны следующим уравнением:

$$v_o = 3,46 \cdot \frac{T}{p_o} \cdot \frac{622 + d}{1000}, \quad (22)$$

где T - температура воздуха в $^{\circ}K$; p_o - барометрическое давление воздуха, мм рт ст.; d - влагосодержание воздуха, г влаги / кг сухого воздуха.

Количество тепла, затраченного на нагрев воздуха или сушку, определяют по формуле:

$$Q = L_c \cdot (i_1 - i_o), \quad (23)$$

где i_o - удельное теплосодержание воздуха до поступления в калорифер, кДж / кг; i_1 - удельное теплосодержание воздуха при выходе из калорифера, кДж / кг.

При нагревании воздуха в калориферах расход пара можно определить по формуле:

$$D = \frac{L_c \cdot (I_1 - I_o)}{\eta \cdot (i - c_{конд} \cdot t_{конд})}, \quad (24)$$

где i - удельное теплосодержание пара, Дж / кг; $t_{конд}$ - температура конденсата, $^{\circ}C$ (можно принять на 10-15 $^{\circ}C$ ниже температуры греющего пара); $c_{конд}$ - удельная теплоемкость конденсата, Дж / (кг · $^{\circ}C$); η - к.п.д. калорифера (принять 0,9...0,97).

Расчет калориферов. Нагрев воздуха для сушильных установок проводят в калориферах или воздухонагревателях. Калориферы подразделяются на паровые и огневые. Паровые калориферы представляют собой пучок труб диаметром до 30 мм, внутри которых пропускается греющий пар, снаружи трубы омываются нагреваемым воздухом. Для увеличения теплопередачи от пара через стенки труб к воздуху на трубы насаживаются металлические прямоугольные или круглые пластины толщиной до 1 мм на расстоянии 5 мм друг от друга. Коэффициент теплопередачи парового

калорифера при скорости нагреваемого воздуха от 4 до 12 м / с составляет 20...35 Вт / (м² · К).

При температуре сушильного агента до 300 °С и выше , используются трубчатые подогреватели, в которых сушильный агент проходит по трубам и подогревается топочными газами, проходящими в межтрубном пространстве. В качестве топлива используют природный газ или мазут.

Греющую поверхность калорифера можно определить по формуле:

$$F_k = Q / k \cdot (t_n - t_{возд}) \cdot \tau \cdot \eta, \quad (25)$$

где Q - количество теплоты, необходимой для нагрева воздуха, Дж;

k - коэффициент теплопередачи, Вт / (м² · К); $t_n, t_{возд}$ - температура пара и воздуха, °С; τ - время, с; η - коэффициент полезного действия (для паровых калориферов $\eta = 0,9 \dots 0,97$).

Для пластинчатых калориферов коэффициент теплопередачи определяют по эмпирической формуле:

$$k = 1,163 \cdot (2 + \sqrt{\sigma}), \quad (26)$$

где σ - скорость движения воздуха в калорифере, м / с.

Скорость движения воздуха в калорифере можно определить по формуле:

$$\sigma = L_o / f, \quad (27)$$

где f - живое сечение калорифера, м². Техническая характеристика калориферов приведена в приложении А.

Каждый студент выполняет расчеты самостоятельно в соответствии с методическими указаниями и индивидуальным заданием.

Пример. Рассчитать и подобрать распылительную сушилку производительностью 1000 кг / ч суспензии с массовой долей сухих веществ 35 %. Температура воздуха на входе в сушилку 185 °С, отработанного воздуха на выходе из сушильной камеры 85 °С. Температура воздуха перед нагревом по сухому термометру - 15 °С, по мокрому термометру - 10 °С.

Исходные данные для расчета:

Производительность сушилki по исходному продукту - 1000 кг / ч;

Массовая доля сухих веществ в исходном продукте - 35 %;

Массовая доля веществ в готовом продукте - 94 %;

Температура воздуха на входе в сушильную камеру - 185 °С;

Температура воздуха на выходе из сушильной камеры - 85 °С;

Температура воздуха перед нагреванием:

- по сухому термометру - 15 °С;
- по мокрому - 10 °С.

Из уравнения материального баланса (14) определяем производительность сушилki по испаренной влаге по формуле (15) и готовому продукту по формуле (16):

$$M_{\text{пр}} = 1000 \cdot 35 / 94 = 372,3 \text{ кг / ч}$$

$$W = (1000 \cdot 94 - 1000 \cdot 35) / 94 = 627,6 \text{ кг / ч}$$

Объем сушильной камеры определяем по формуле (17):

$$V = 627,6 / 4,6 = 136,4 \text{ м}^3.$$

Диаметр сушильной камеры определяем по формуле (18):

$$D = 1,05 \cdot \sqrt[3]{\frac{627,6}{4,6}} = 5,4 \text{ м}$$

Высоту камеры сушки определяем по формуле (19):

$$H = 1,2 \cdot 5,4 = 6,5 \text{ м.}$$

Количество сухого воздуха, поступающего в башню, определяем по формуле (20):

$$L_c = 1000 \cdot 627,6 / (46,5 - 6,5) = 15690 \text{ кг сухого воздуха / ч.}$$

Объемный расход воздуха, поступающего в башню, определяем по формуле (21), предварительно определив удельный объем влажного воздуха по формуле (22):

$$v_o = 3,46 \cdot \frac{458}{760} \cdot \frac{622 + 6,5}{1000} = 1,184 \text{ м}^3 / \text{кг сухого воздуха}$$

$$L_o = 15690 \cdot 1,184 = 18577 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Количество тепла, затраченное на нагрев воздуха или на сушку, определяем по формуле (23):

$$Q = 15690 \cdot (185 - 28) = 2463330 \text{ кДж / ч}$$

Расход пара на нагрев воздуха в калориферах определяем по формуле (24):

$$D = 2463330 / (0,9 \cdot (2790 - 4,385 \cdot 170)) = 1338,7 \text{ кг / ч}$$

Удельный расход пара на 1 кг испаренной влаги в час:

$$D_{уд} = 1338,7 / 627,6 = 2,1 \text{ кг / кг}$$

Расчет калорифера.

Общую поверхность нагрева калорифера определяем по формуле (25), предварительно рассчитав скорость движения воздуха в калорифере по формуле (14) и коэффициент теплопередачи по формуле (26):

$$\sigma = 18577 / 3600 / 0,558 = 9,25 \text{ м / с}$$

$$k = 1,163 \cdot (2 + 7 \cdot \sqrt{9,25}) = 27,08$$

$$F_k = 2463330 \cdot 1000 / 27,08 \cdot (195 - 15) \cdot 3600 \cdot 0,95 = 147,7 \text{ м}^2.$$

Количество параллельно установленных калориферов:

$$n = F_k / f = 147,7 / 61,2 = 2,41 \text{ шт.}$$

Принимаем 3 калорифера.

Характеристика выбранного сушильного агрегата:

Тип сушилки - распылительная

Объем сушильной камеры - 136,4 м³;

Диаметр сушильной камеры - 5,4 м;

Высота сушильной камеры - 6,5 м;

Производительность по испаренной влаге - 627,6 кг / ч;

Производительность по готовому продукту - 372,3 кг / ч;

Расход воздуха - 18577 м³ / ч;

Расход пара - 1338,7 кг / ч;

Удельный расход пара на 1 кг испаренной влаги - 2,1 кг / кг.

Таблица 1. Техническая характеристика калориферов

Поверхность		Живое сечение, м2 по воздуху	Живое сечение, м2 по теплоносителю			
КФС и КМС	КФБ и КМБ	КФС, КМС, КФБ, КМБ	КФС	КФБ	КМС	КМБ
09,9	12,7	0,115	0,0046	0,0061	0,00231	0,00305
13,2	16,9	0,154	0,0061	0,0082	0,00152	0,00203
16,7	21,4	0,195	0,0061	0,0082	0,00152	0,00203
20,9	26,8	0,244	0,0076	0,0102	0,00190	0,00254
25,3	32,4	0,295	0,0076	0,0102	0,00190	0,00254
30,4	38,9	0,354	0,0092	0,0122	0,00231	0,00305
35,7	45,7	0,416	0,0092	0,0122	0,00231	0,00305
41,6	53,3	0,486	0,0107	0,0143	0,00178	0,00237
47,8	61,2	0,558	0,0107	0,0143	0,00178	0,00237
54,6	69,9	0,638	0,0122	0,0163	0,00203	0,00271

Индивидуальные задания по распылительным сушилкам

№№ п / п	Производитель ность сушилки по среде, кг / с	Характеристика процесса сушки				
		м.д. СВ нач., %	м.д. СВ кон., %	тем-ра сред. °С	т-ра на вых., °С	т-ра на входе °С
1	500	45	90	65	85	185
2	600	44	91	64	84	184
3	700	43	92	63	83	183
4	800	42	93	62	82	182
5	900	41	94	61	81	181
6	1000	40	95	60	80	180
7	1100	39	90	59	79	179
8	1200	38	91	58	78	178
9	1300	37	92	57	77	177
10	1400	36	93	56	76	176
11	1500	35	94	55	75	175
12	1600	36	95	54	74	174
13	1700	37	90	53	73	173
14	1800	38	91	52	75	175
15	1900	39	92	51	76	176
16	2000	40	93	50	77	177
17	1900	41	94	51	78	178
18	1800	42	95	52	79	179
19	1700	43	92	53	80	180
20	1600	44	90	54	81	181
21	1500	45	91	55	82	182
22	1400	44	92	56	83	183
23	1300	43	93	57	84	184
24	1200	42	94	58	85	185

5. Содержание отчета и его форма

Отчет о расчетно-проектной работе оформляется в соответствии с требованиями, изложенными в методических указаниях по курсовому проектированию, и включает в себя:

- цель работы;
- теоретическую часть, в которой излагаются основы процесса сушки культуральных жидкостей; факторы, влияющие на процесс сушки; типы применяемых сушильных установок и их характеристика; требования к сушильным установкам различного типа;
- расчетную часть, выполненную по приведенной методике и в соответствии с индивидуальным заданием.

6. Контрольные вопросы и защита работы

1. Виды и классификация промышленных установок для сушки биологических объектов.
2. Перечислите основные требования к сушильным установкам ?
3. Перечислите преимущества и недостатки распылительных сушилок ?
4. В чем заключается сущность процесса удаления влаги в сублимационных сушилках?
5. Характеристика объекта сушки для туннельных сушилок.
6. С какой целью и как осуществляется очистка воздуха перед его нагреванием и использованием для сушки?
7. Каковы способы экономии тепла при сушке?
8. В чем сущность расчета и подбора сушильных установок ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 17. ЧЕРТЕЖ БЛОЧНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГРАММЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

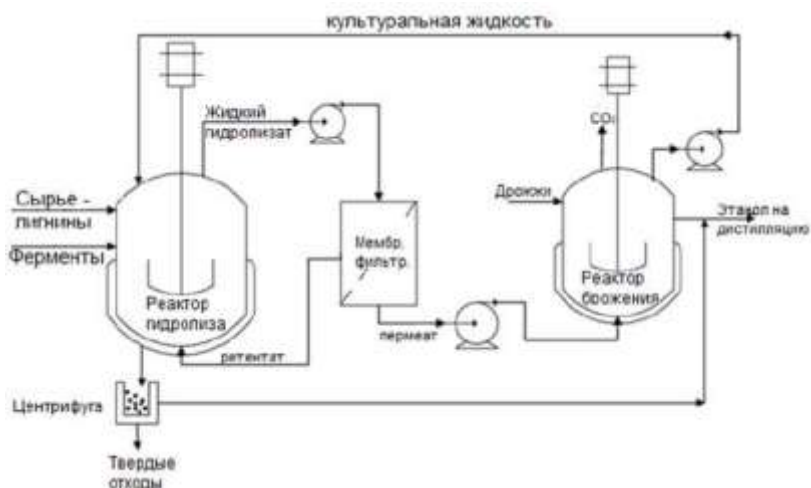
1. Цель и содержание.

Овладеть навыками построения блочной функциональной диаграммы биотехнологических процессов, включающих несколько единиц биотехнологического оборудования.

2. Теоретическое обоснование.

Блочная функциональная диаграмма — это схема технологического процесса, которая используется для того, чтобы указать общее направление технологического процесса, используемое оборудование, потоки сырья, полуфабрикатов, готовой продукции, теплоносителей. Обычно при проектировании такие схемы обозначают как PFD- схема, от английского названия «process flow diagram». Блочная функциональная диаграмма отображает взаимосвязь между основным оборудованием производственного объекта, может также включать основные контрольно-измерительные приборы, мощности представляемого оборудования, температурные режимы и т.д.

Пример блочной функциональной диаграммы участка производства спирта из



лигнинов в упрощенной форме приведен на рис.1

Рисунок 1 - Блочная функциональная диаграмма производства спирта из лигнинов

На рисунке 2 приведена схема ректификации этанола, причем в схеме использованы обозначения запорной арматуры.

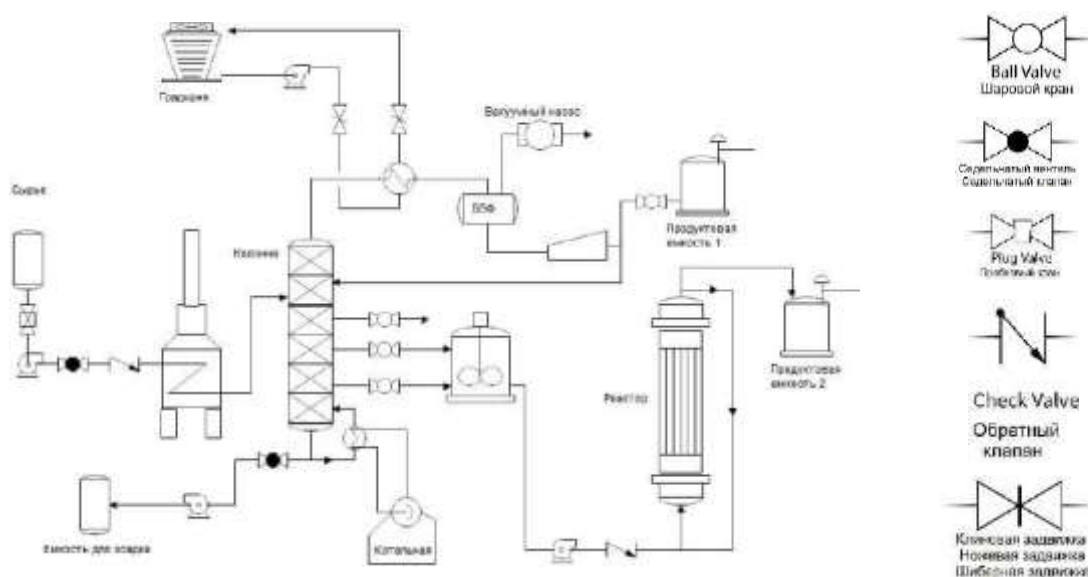


Рисунок 2 - Блочная функциональная диаграмма ректификации этанола

3. Методика и порядок выполнения работы

2. Построение блочной функциональной диаграммы

Для построения блочной функциональной диаграммы необходимо:

1. Построить блок-схему технологических операций для понимания оборудования, которое потребуется для реализации схемы.
2. Список оборудования в линию.
3. Расчет материальных потоков, который необходим для ориентировочного подбора оборудования.
4. Список сырья и полуфабрикатов для подбора подъемно-транспортного оборудования, мешалок, теплообменников и т.д.
5. Начертить блочную прессовую диаграмму
6. Построить график работы оборудования и проверить правильность подбора оборудования
7. Внести корректировки в блочную прессовую диаграмму

В качестве примера разберем построение блочной функциональной диаграммы процесса сепарирования и пастеризации 50 т/с цельного молока с получением обезжиренного молока и сливок.

Последовательность выполнения чертежа.

1. Блок-схема процесса:

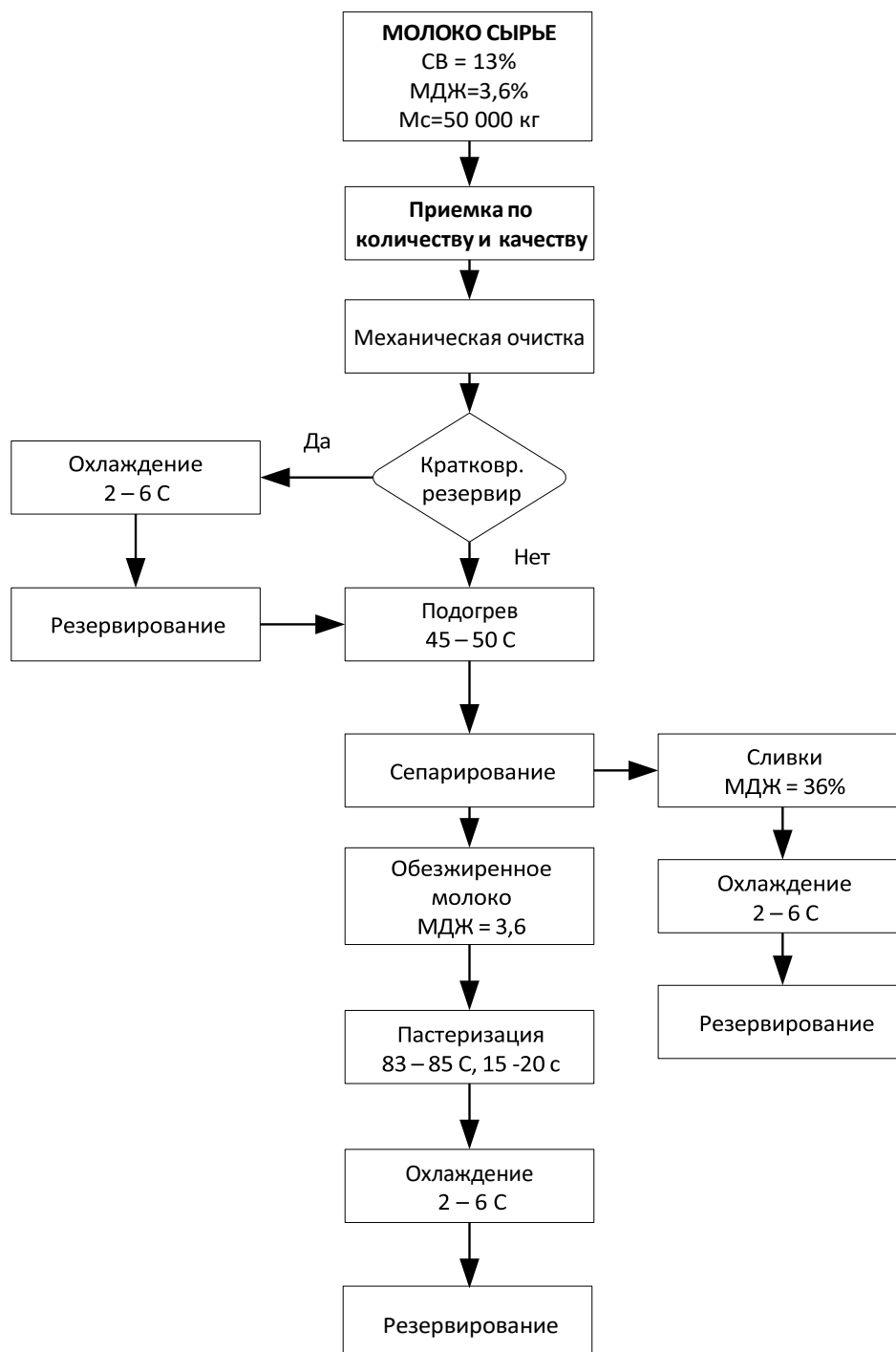


Рисунок 3 – Блок-схема механической и тепловой обработки молока

Цельное молоко-сырье, поступает на предприятие, при необходимости может резервируется, а затем поступает на сепарирование и пастеризацию.

2. Материальный баланс:

$M_c = 50\,000 \text{ л / с}$

$M_{сл} = 4992,3 \text{ л/с}$

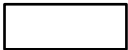
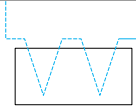
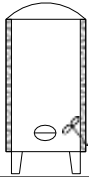
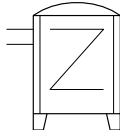
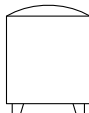
$M_{об} = 45007,7 \text{ л/с}$

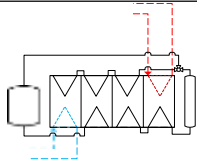
3. Спецификация оборудования

Таблица 1 – Спецификация оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Тип, марка	Производ, м3/ч	Кол-во, шт
1.	Центробежный насос	ОНЦ1-25	25,0	1
2.	Фильтр механической очистки	-	25,0	1
3.	Теплообменник пластинчатый	Ридан XGM0 25	25	1
4.	Резервуар с термоизоляцией	DONI®Tank	25	2
5.	Центробежный насос	ОНЦ1-10	10,0	1
6.	Пастеризационно-охладительная установка	ОГМ-10	10,0	1
7.	Сепаратор-сливкоотделитель	Alfa Laval	10,0	2
8.	Резервуар с термоизоляцией	DONI®Tank	25	2
9.	Теплообменник пластинчатый	Ридан XGM025	25	1
10.	Резервуар для сливок с рубашкой	DONI®Tank	5	1

Таблица 2 – Обозначение оборудования в схеме

№	Наименование оборудования	Обозначения
1.	Центробежный насос	
2.	Расходомер	
3.	Фильтр механической очистки	
4.	Теплообменник пластинчатый	
5.	Резервуар с термоизоляцией	
6.	Резервуар для сливок с рубашкой	
7.	Буферная емкость для сливок	

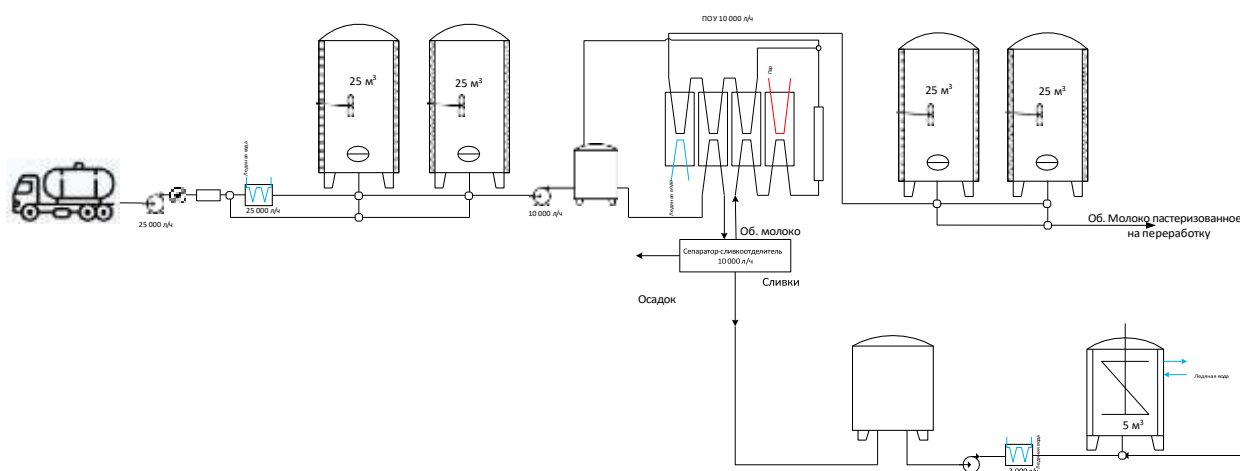
№	Наименование оборудования	Обозначения
8.	Пастеризационно-охладительная установка	
9.	Сепаратор-сливкоотделитель	

4. Блочная функциональная диаграмма

На диаграмме

- указать производительность/ объем оборудования,
- указать направления материальных потоков и теплоносителей.
- указать положение клапанов для переключения потока сырья или полуфабриката.

Рисунок блочной функциональной диаграммы сделать отдельным файлом.



5. Дать описание блочной функциональной диаграмме.

ПРИМЕР

Молоко-сырье доставляется на предприятие в автомолцистернах. Принятое по качеству молоко перекачивается центробежным насосом в емкости для хранения сырого молока. Предварительно молоко-сырье проходит механическую очистку на фильтрах грубой очистки. Если предполагается резервирование молока, то

сырье охлаждается на пластинчатом теплообменнике до температуры (2 – 6) оС.

Для контроля количества поступающего сырья используется массовый расходомер.

Для приемки и хранения молока-сырья предусматриваются 2 емкости 25 м³, оснащённые мешалками и термоизоляцией.

Молоко-сырьё из емкостей хранения поступает в балансировочный бачок ПОУ. ПОУ имеет 4 секции: 2 секции регенерации, секцию подогрева до температуры пастеризации, секцию охлаждения, трубчатый выдерживатель. Молоко-сырьё поступает во 2 секцию регенерации, подогревается до температуры сепарирования и направляется на сепаратор-сливкоотделитель, где происходит разделение сырья на сливки и обезжиренное молоко, а также дополнительная очистка сырья от взвешенных частиц.

Сливки направляются в буферную емкость, а затем охлаждаются на пластинчатом охладителе и резервируются в емкости с рубашкой и мешалкой. Для охлаждения сливок в рубашку подается ледяная вода.

Обезжиренное молоко возвращается во вторую секцию регенерации, затем проходит секцию пастеризации, где подогревается до температуры пастеризации, выдерживатель, а затем возвращается через 2 и 3 секции регенерации в 1 секцию, где доохлаждается до температуры (2 - 6) °С и направляется на резервирование.

6. Содержание отчета и его форма

Отчет о работе оформляется в соответствии с требованиями, изложенными в методических указаниях, и включает в себя:

- цель работы;
- расчетную часть, выполненную по приведенной методике и в соответствии с индивидуальным заданием.

6. Контрольные вопросы

1. Какие предпосылки позволяют отнести биотехнологию к технологиям будущего?

2. В чем состоят специфические требования к оборудованию биотехнологических производств?
3. Перечислите основные группы оборудования по функциональным признакам.
4. Каковы новые принципы подхода к проектированию технологических линий биотехнологических производств?

Перечень основной и дополнительной литературы:

Основная литература

1. Евдокимов, И. А. (СевКавГТУ). Основы технологии и оборудование биотехнологических производств : учеб. пособие / И. А. Евдокимов, С. В. Василисин, М. И. Шрамко ; ФГБОУ Сев.-Кав. гос. техн. ун-т. — Ставрополь : Издательство СевКавГТУ, 2012. — 251 с. : ил. — Библиогр.: с. 249.
2. Основы проектирования и оборудование предприятий биотехнологической промышленности : сборник задач / составители О. Н. Чечина. — Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 268 с. — ISBN 978-5-7964-1824-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/90680.html>

Дополнительная литература

1. Жуков В.И. Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.И. Жуков. — Электрон.текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 188 с. — 978-5-7782-2403-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45150.html>
1. Вобликова Т.В. Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т.В. Вобликова, С.Н. Шлыков, А.В. Пермяков. — Электрон.текстовые данные. — Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, АГРУС, 2013. — 212 с. — 978-5-9596-0958-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47344.html>
2. Лабораторные работы по машинам и оборудованию биотехнологий. Часть II [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Е.И. Верболоз [и др.]. — Электрон.текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2016. — 90 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67239.html>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Методические указания к самостоятельной работе

19.03.01 Биотехнология

Ставрополь 2026

Оглавление	
ВВЕДЕНИЕ	3
План-график выполнения самостоятельной работы.....	Ошибка! Закладка не определена.
Методические указания по изучению теоретического материала.....	3
Методические указания по подготовке к практическим работам	3
Вопросы к собеседованию по темам	3
Выполнение контрольной работы	Ошибка! Закладка не определена.
Темы контрольных работ по дисциплине	Ошибка! Закладка не определена.
Перечень основной и дополнительной литературы:	9

ВВЕДЕНИЕ

Цель дисциплины «ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ» – сформировать у студентов систему профессиональных знаний по классификации, устройству и принципу действия технологического оборудования биотехнологической промышленности, обеспечению качества продукции при эксплуатации оборудования. Задачи дисциплины: - изучить классификацию, устройство и принцип действия технологического оборудования для производства биотехнологических продуктов; - ознакомиться с правилами эксплуатации технического обслуживания технологического оборудования, методами его подбора.

Дисциплина относится к естественнонаучным дисциплинам базовой части, её освоение происходит в 6, 7 семестре

Методические указания по изучению теоретического материала

Самостоятельное изучение теоретического материала предполагает работу с учебной, научной и справочной литературой. Результатом работы, которая проверяется преподавателем, может быть конспект (по желанию студента), схемы, таблицы. Конспект способствует запоминанию материала, помогает овладению специальными терминами, незаменим при подготовке более сложной работы в виде доклада, реферата, курсовой и дипломной работы. Схема может быть альтернативным вариантом конспекта, в которой без детализации прочитанного материала приводятся ключевые слова, основные понятия, структуры, описывающие определенные процессы. Особенно важно составление схем для структурирования информации в динамической биохимии при рассмотрении метаболизма углеводов, липидов, белков и нуклеиновых кислот. Создавать схему можно на листе бумаги, экране компьютера и т. п. Таблица – удобная форма представления проработанного теоретического материала. В таблицах в сжатой форме может быть представлена информация о структуре, свойствах, количественном содержании важнейших природных органических соединений в различных биологических объектах.

Методические указания по подготовке к практическим работам

Подготовка к практическим занятиям состоит из нескольких этапов. Первое - повторение изученного материала. Для этого используются конспекты лекций, рекомендованная основная и дополнительная литература; второе - углубление знаний по теме. Необходимо имеющийся материал в лекциях, учебных пособиях дифференцировать в соответствии с пунктами плана практического занятия. Форма контроля данного вида СРС: собеседования.

Вопросы к собеседованию по темам

Тема 1. Характеристика способов обработки сырья и оборудования в пищевой промышленности

1. Предпосылки, позволяющие отнести биотехнологию к технологиям будущего.
2. Специфические требования к оборудованию биотехнологических производств.
3. Новые принципы подхода к проектированию технологических линий биотехнологических производств.
4. На чем основаны основные специфические требования к оборудованию?
5. Что обуславливает получение стандартного продукта?
6. Влияние материала, из которого изготовлено оборудование, на качество готового продукта и эффективность процессов выработки.
7. История биотехнологии, её зарождение и этапы развития.
8. Определение биотехнологии, ее объекты.
9. Биотехнология как наука. История развития. Связь с фундаментальными науками XX века.
10. Основные разделы биотехнологии.
11. Основные объекты биотехнологии.

Тема 2. Классификация технологического оборудования биотехнологических производств

1. Специфические требования к оборудованию биотехнологических производств.
2. Основные группы оборудования по функциональным признакам.
3. Новые принципы подхода к проектированию технологических линий биотехнологических производств.
4. Основные специфические требования к оборудованию
5. Оборудование для хранения сыпучих материалов.
6. Оборудование для хранения жидких материалов.
7. Оборудование для измельчения различных видов сырья.
8. Оборудование для экстракции из сырья веществ, являющихся необходимыми компонентами питательных сред.
9. Оборудование для экстракции из культуры ферментов.
10. Оборудование для растворения твердых веществ в жидкости (реакторы).
11. Оборудование для фильтрации (грубое отделение твердых включений от жидкой части).
12. Оборудование для стерилизации жидких сред.
13. Оборудование для стерилизации сыпучих сред.
14. Оборудование для стерилизации воды.
15. Оборудование для приготовления посевного материала на твердых средах.
16. Оборудование для приготовления посевного материала на жидких питательных средах поверхностным способом.
17. Оборудование для приготовления посевного материала на жидких питательных средах глубинным способом.

Тема 3. Классификация подъемно-транспортного оборудования

1. Классификация подъемно-транспортного оборудования
2. Классификация грузов.
3. Свойства сыпучих грузов.
4. Свойства штучных грузов.
5. Крупность и однородность грузов
6. Свойства жидких грузов.
7. Абразивность грузов
8. Особые свойства сыпучих грузов
9. Чем характеризуется гранулометрический состав сырья?

Тема 4. Установки непрерывного перемещения грузов

1. Значение механизации ПРТС - работ в пищевой промышленности. Особенности применения ПТУ в пищевой промышленности.
2. Классификация средств ПТУ. Основные направления в развитии средств ПТУ.
3. Процессы перемещения груза на предприятиях и их связь с технологией производства.
4. Основные направления развития машин непрерывного транспорта и методика их выбора.
5. Устройства для погрузки сыпучих грузов.
6. Устройство для разгрузки сыпучих грузов.
7. Ленточные конвейеры назначение, конструкция и методика их расчета.
8. Пластинчатые конвейеры назначение, конструкция и методика их расчета.
9. Скребок-конвейеры с высокими скребками назначение, конструкция и методика их расчета.
10. Скребок-конвейеры с погружными скребками назначение, конструкция и методика их расчета.

Тема 5. Насосы

1. Классификация насосов.
2. Динамические и объемные насосы - отличия и характеристики.
3. Насосы центробежные: основные узлы и принцип работы

4. Основы расчета центробежных насосов
5. Основные неполадки центробежных насосов
6. Преимущества и недостатки центробежных насосов
7. Насосы осевые: основные узлы и принцип работы
8. Основы расчета осевых насосов
9. Основные неполадки осевых насосов
10. Преимущества и недостатки осевых насосов

Тема 6. Вспомогательное оборудование биотехнологической отрасли

1. Виды вспомогательного оборудования.
2. Аппараты для хранения продуктов без регулирования температуры;
3. Аппараты, позволяющие хранить продукт при определенных температурах
4. Аппараты с регулируемыми теплофизическими показателями продукта (подогрев, охлаждение).
5. Регулирование температурных параметров в резервуарах
6. Нагревательно – охладительные системы с резервуар с теплообменную рубашкой
7. Нагревательно – охладительные системы с орошением
8. Нагревательно – охладительные системы со змеевиком
9. Нагревательно – охладительные системы с выносным теплообменником
10. Нагревательно – охладительные системы смешенного типа

Тема 7. Классификация способов и оборудования для стерилизации твердых и жидких питательных сред

1. Характеристика способов стерилизации питательных сред.
2. Что такое питательные среды?
3. Какие требования предъявляются к питательным средам?
4. Каким образом готовятся плотные питательные среды и для чего они используются?
5. Почему в качестве уплотнителя для питательных сред лучше использовать агар-агар, а не желатин?
6. На какие группы делятся питательные среды по происхождению и составу?
7. Что такое синтетические среды и в каких случаях они применяются?
8. Для каких целей используются универсальные, избирательные и дифференциально-диагностические среды?
9. Приведите примеры универсальных, избирательных и дифференциально-диагностических питательных сред.
10. Что такое стерилизация? Какие методы стерилизации Вам известны?

Тема 8. Теплообменные аппараты биотехнологической отрасли

1. Классификация кожухотрубчатых теплообменных аппаратов. Типы конструкций;
2. Последовательность проектирования кожухотрубчатых теплообменных аппаратов;
3. Исходные данные для проектирования;
4. Способы крепления трубных решеток кожухотрубчатых теплообменных аппаратов;
5. Преимущества и недостатки кожухотрубчатых теплообменных аппаратов;
6. Основные размеры труб, используемых в теплообменниках, и способы их размещения и крепления;
7. Конструкция трубных решеток, перегородок, стяжек и распорок кожухотрубчатых теплообменных аппаратов;
8. Выбор пространства для теплоносителя кожухотрубчатых теплообменных аппаратов;
9. Требования к конструированию и изготовлению кожуха кожухотрубчатых теплообменных аппаратов;
10. Конструкции крышек и патрубков кожухотрубчатых теплообменных аппаратов;

Тема 9. Оборудование для стерилизации воздуха

1. Основные характеристики фильтров предварительной очистки
2. Критерии эффективности биологических фильтров

3. Расчетная эффективность стерилизации воздуха
4. Схема такой многоступенчатой очистки воздуха
5. Фильтрующие материалы биологических фильтров
6. Преимущества и недостатки спеченных зернистых материалов
7. Преимущества и недостатки волокнистых и нетканых материалов
8. Ячейковые фильтры: принцип работы, расчет
9. Самоочищающиеся масляные фильтры: принцип работы, расчет
10. Самоочищающиеся шторочные фильтры: принцип работы, расчет

Тема 10. Культивирование микроорганизмов на твердых питательных средах

1. Классификация методов культивирования.
2. Периодические, полунепрерывные и непрерывные методы культивирования.
3. Камерные растительные установки с горизонтально расположенными перфорированными кюветами
4. Механизированные растительные установки с вертикально расположенными перфорированными кюветами;
5. Ленточно-конвейерные установки циклического и непрерывного действия;
6. Пластинчатые агрегаты непрерывного действия с применением растительных вибрационных установок;
7. Установки колонного типа с объемным аэрированием;
8. Растительные установки барабанного типа.
9. Принципиальная схема расположения технологического оборудования в отделении выращивания гриба
10. Преимущества механизированных растительных установок

Тема 11. Культивирование микроорганизмов на жидких питательных средах

1. Факторы, влияющие на биосинтез биологически активных веществ
2. Классификация аппаратов для глубинного выращивания микроорганизмов
3. Ферментеры для глубинного выращивания микроорганизмов с диффузором и турбиной
4. Ферментеры для глубинного выращивания микроорганизмов с вращающимися аэраторами
5. Ферментеры для глубинного выращивания микроорганизмов с механическими мешалками
6. Ферментеры для глубинного выращивания микроорганизмов с наружным циркуляционным контуром
7. Ферментеры для глубинного выращивания микроорганизмов, колонные, с эжекционной системой аэрации
8. Как обеспечивается стерильность процесса ферментации?
9. Как обеспечивается эффективный процесс культивирования клеток?
10. Схема технологической обвязки ферментера показана

Тема 12. Оборудование для экстрагирования

1. Основные понятия процесса экстрагирования.
2. Понятие диффузионного переноса.
3. Номограмма относительной эффективности экстрагирования
4. Закон Фика
5. Экстракторы периодического действия: преимущества и недостатки
6. Экстракторы непрерывного действия: преимущества и недостатки
7. Общий вид диффузионной батареи
8. Способ последовательного выщелачивания
9. Экстракторы роторного типа: преимущества и недостатки
10. Принципиальная схема экстрактора роторного типа

Тема 13. Оборудование для отжима. Фильтра

1. Для чего используется процесс отжима?
2. От чего зависит количество экстракта в осадке

3. Механические прессы периодического действия с ручным, механизированным приводом и гидравлическим сжатием
4. Механические прессы периодического действия с ручным, механизированным приводом и пневматическим сжатием
5. Прессы непрерывного действия шнековые,
6. Прессы непрерывного действия эксцентриковые,
7. Прессы непрерывного действия ленточные,
8. Прессы непрерывного действия центробежные
9. Прессы непрерывного действия вальцовые.
10. Недостатки прессов периодического действия

Тема 14. Флотаторы

1. Что называется флотацией?
2. Область использования флотации?
3. Преимущества применения флотации в дрожжевом производстве.
4. Понятие коэффициента флотации.
5. Классификация флотаторов
6. Флотаторы, работающие при насыщении воздухом под избыточным давлением.
7. Флотаторы, работающие при проведении флотации диспергированным воздухом
8. Принцип действия электрофлотаторов.
9. Конструкционные решения флотаторов.
10. Пневматический одноступенчатый флотатор: принцип действия

Тема 15. Аппараты для концентрирования выпариванием

1. Назначение процесса концентрирования сырья и полуфабрикатов
2. Классификация способов концентрирования сырья и полуфабрикатов
3. Классификация аппаратов для концентрирования выпариванием.
4. Вакуум-выпарные установки периодического и непрерывного действия;
5. Вакуум-выпарные установки однокорпусные и многокорпусные;
6. Вакуум-выпарные установки с трубчатыми или пластинчатыми калоризаторами;
7. Вакуум-выпарные установки с паровым, аммиачным или фреоновым обогревом;
8. Вакуум-выпарные установки циркуляционные и пленочные.
9. Как называется пар, удаляемый из продукта?
10. Вакуум-выпарные установки с принудительной циркуляцией

Тема 16. Вакуум-выпарные установки непрерывного действия

1. Вакуум-выпарные установки с выносной системой нагрева типа «Виганд»
2. Двухкорпусная вакуум-выпарная установка с пароструйным компрессором
3. Многокорпусные выпарные установки.
4. Основные схемы многокорпусных установок.
5. Оптимальное число корпусов.
6. Полная и полезная разность температур, физико-химическая, гидростатическая и гидравлическая температурные депрессии.

Тема 17. Технология и техника мембранного разделения и концентрирования

Классификация мембранных процессов.

1. Обратный осмос,
2. Ультрафильтрация,
3. Микрофильтрация,
4. Электродиализ,
5. Испарение через мембрану,
6. Диффузионное разделение газов.
7. Роль, значение и области применения мембранных процессов в современной науке и технике.
8. Типы мембран /пористые и непористые перегородки/ и их основные свойства и характеристики.

9. Механизм переноса через пористые и непористые перегородки при разделении газов и жидких смесей.

10. Кинетика мембранных процессов.

Тема 18. Оборудование для центрифугирования суспензий

1. Разделение неоднородных систем под действием центробежной силы

2. Осадительные центрифуги,

3. Разделяющие (сепарирующие) центрифуги

4. Фильтрующие центрифуги

5. Комбинированные центрифуги.

6. Режим работы центрифуг

7. Факторы, которые необходимо учитывать при выборе центрифуг

8. Расчет фактора разделения центрифуг

9. Фильтрующие центрифуги типа ФПД: основные узлы и принцип действия

10. Центрифуги вертикальные малолитражные : основные узлы и принцип действия

Тема 19. Жидкостные тарельчатые сепараторы

1. Жидкостные центробежные сепараторы разделители - для разделения двух взаимно нерастворимых жидкостей (вода и жир);

2. Жидкостные центробежные сепараторы очистители - для выделения взвешенного компонента (клеток микробиологических суспензий);

3. Жидкостные центробежные сепараторы очистители - разделители для работы в качестве очистителей и разделителей в зависимости от сбора ротора;

4. Жидкостные центробежные сепараторы сгустители для повышения концентрации взвешенных или коллоидных компонентов микробиологических суспензий с одновременным разделением продукта в случае эмульсии;

5. Жидкостные центробежные сепараторы классификаторы (для классификации взвешенных компонентов суспензии по размеру или плотности частиц).

6. Сепараторы с центробежной пульсирующей выгрузкой (саморазгружающиеся)

7. Сепараторы непрерывной выгрузкой осадка (сопловые)

8. Сепараторы с ручной выгрузкой осадка

9. Расчет скорости выделения частиц в сепараторе Факторы, определяющие производительность сепаратора

10. Сепараторы – осветлители в микробиологической промышленности

Тема 20. Характеристика способов сушки пищевых продуктов Классификация сушилок, основные виды сушилок и их характеристика

1. Общая характеристика процесса сушки.

2. Общая схема конвективной сушилки.

3. Свойства влажного воздуха

4. Материальный и тепловой балансы конвективной сушилки.

5. Особенности сушки биологически активных веществ

6. Контактная сушка.

7. Специальные методы сушки.

8. Сублимационная сушка.

9. Сушка инфракрасными лучами.

10. Сушка токами высокой частоты.

Тема 21. Устройство и эксплуатация вальцевых, распылительных и сублимационных сушилок.

1. Вальцовые сушилки: одновальцовые: преимущества и недостатки

2. Вальцовые сушилки: двухвальцовые: преимущества и недостатки

3. Устройство одновальцовой сушилки, работающей при атмосферном давлении

4. Сушилка двухвальцовая атмосферная: устройство и принцип действия

5. Распылительные сушильные установки

6. Назначение распылительных сушилок в биотехнологической промышленности

7. Достоинства распылительных сушилок
8. Недостатки распылительных сушилок
9. Распылительные сушилки с плоским днищем
10. Распылительные сушилки с коническим днищем

Тема 22. Оборудование для измельчения

1. Что такое процесс измельчения?
2. Чем характеризуется степень измельчения?
3. Как определяется коэффициент измельчения?
4. Техническая характеристика дезинтеграторов
5. Дезинтегратор ДЗГ-630-401: устройство и принцип действия
6. Шаровые мельницы: устройство и принцип действия

Тема 23. Оборудование для стандартизации сыпучих и пастообразных материалов

1. Смесители периодического действия планетарно-шнековые
2. Техническая характеристика планетарно-шнековых смесителей
3. Смесители периодического действия центробежные лопастные
4. Техническая характеристика центробежных лопастных смесителей
5. Ленточный смеситель непрерывного действия типа СНД-900
6. Техническая характеристика ленточных смесителей

Тема 24. Оборудование для гранулирования и микрокапсулирования

1. Оборудование для гранулирования – экструдеры
2. Оборудование для гранулирования – центробежные окатыватели
3. Оборудование для гранулирования – шнековые грануляторы формования
4. Оборудование для гранулирования – грануляторы барабанного типа
5. Машины для гранулирования методом прессования
6. Совмещенные сушилки-грануляторы
7. Грануляционные башни.
8. Экструдеры-грануляторы для проведения влажной грануляции
9. Шнековые грануляторы для гранулирования пастообразных продуктов
10. Техническая характеристика шнековых грануляторов

Перечень основной и дополнительной литературы:

Основная литература

1. Евдокимов, И. А. (СевКавГТУ). Основы технологии и оборудование биотехнологических производств : учеб. пособие / И. А. Евдокимов, С. В. Васи́лин, М. И. Шрамко ; ФГБОУ Сев.-Кав. гос. техн. ун-т. – Ставрополь : Издательство СевКавГТУ, 2012. – 251 с. : ил. – Библиогр.: с. 249.

2. Основы проектирования и оборудование предприятий биотехнологической промышленности : сборник задач / составители О. Н. Чечина. — Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 268 с. — ISBN 978-5-7964-1824-6. —

Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/90680.html>

Дополнительная литература

1. Жуков В.И. Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.И. Жуков. — Электрон.текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 188 с. — 978-5-7782-2403-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45150.html>

2. Вобликова Т.В. Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т.В. Вобликова, С.Н. Шлыков, А.В. Пермяков. — Электрон.текстовые данные. — Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, АГРУС, 2013. — 212 с. — 978-5- 9596-0958-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47344.html>