

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

С.П. Василевская
В.Ю. Полищук

ПРАКТИКУМ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБОРУДОВАНИЮ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Рекомендовано к изданию Ученым советом
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам
высшего профессионального образования по направлению подготовки
151000.62 Технологические машины и оборудование

Оренбург
2012

УДК 664(075.8)
ББК 36.81-5я73
В 19

Рецензент – кандидат технических наук, доцент В.П. Попов

Василевская, С.П.

В 19 Практикум по технологическому оборудованию пищевых производств: учебное пособие / С.П. Василевская, В.Ю. Полищук; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 217 с.
ISBN

В учебном пособии приведены практические работы по расчету основного технологического оборудования цехов и предприятий пищевых производств различной мощности. Кратко изложены теоретические сведения и методики расчетов основных технологических и конструктивных параметров оборудования. Приведены варианты индивидуальных заданий, контрольные вопросы, справочный и нормативный материал, необходимый для выполнения необходимых расчетов.

Пособие предназначено для выполнения практических занятий по технологическому оборудованию отрасли для студентов по направлению подготовки 151000.62 Технологические машины и оборудование.

УДК 664(075.8)
ББК 36.81-5я73

4001010000
В _____
ISBN

© Василевская С.П.,
Полищук В.Ю., 2012
© ОГУ, 2012

Содержание

Введение	5
1 Оборудование для мойки сырья и очистки тары.....	7
1.1 Практическое занятие № 1 Расчет бутылкомоечной машины.....	7
1.2 Практическое занятие № 2 Расчет машины для мойки плодов и овощей	20
2 Оборудование для сортировки и калибровки сырья.....	28
2.1 Практическое занятие № 1 Расчет цилиндрического триера	28
3 Оборудование для переработки сырья разделением.....	38
3.1 Практическое занятие № 1 Расчет параметров рабочих органов молотковых дробилок	38
3.2 Практическое занятие № 2 Расчет гомогенизатора	52
3.3 Практическое занятие № 3 Расчет протирачной машины	60
3.4 Практическое занятие № 4 Расчет диатомитового намывного фильтра ...	68
4 Оборудование для механической переработки сырья и полуфабрикатов со- единением.....	76
4.1 Практическое занятие № 1 Расчет тестомесильной машины	76
4.2 Практическое занятие № 2 Расчет лопастной мешалки	82
5 Оборудование для переработки сырья и полуфабрикатов формованием	89
5.1 Практическое занятие № 1 Расчет основных параметров макаронного пресса	89
5.2 Практическое занятие № 2 Расчет экструдера	95
6 Оборудование для проведения тепловых процессов.....	104
6.1 Практическое занятие № 1 Расчет автоклава.....	104
7 Оборудование для проведения массообменных процессов	116
7.1 Практическое занятие № 1 Расчет брагоректификационного аппарата ..	116
8 Сушильное оборудование.....	131
8.1 Практическое занятие № 1 Расчет барабанной сушилки	131

8.2 Практическое занятие № 2 Расчет сушилki с горизонтальными решетками для сушки солода	141
9 Оборудование для выпечки и обжарки продуктов.....	150
9.1 Практическое занятие № 1 Расчет обжарочной печи	150
10 Оборудование для охлаждения и замораживания продуктов и полуфабрикатов	161
10.1 Практическое занятие № 1 Расчет воздухоохладителя	161
11 Оборудование для проведения микробиологических процессов	178
11.1 Практическое занятие № 1 Расчет дрожжерастительного аппарата	178
12 Оборудование для взвешивания и дозирования продукции.....	192
12.1 Практическое занятие № 1 Расчет дозаторов пищевых продуктов	192
13 Оборудование для фасовки и упаковки готовой продукции	199
13. 1 Практическое занятие № 1 Расчет разливочного автомата	199
Заключение	212
Список использованных источников	213

Введение

Основными задачами пищевой промышленности являются: снабжение населения качественными продуктами питания, создание принципиально новых видов продуктов, разработка и внедрение современных высокоэффективных видов технологического оборудования, которые на основе использования прогрессивной технологии и материалов повышают производительность, уменьшают негативное воздействие на окружающую среду, экономят исходное сырье, топливно-энергетические и материальные ресурсы.

Специалист в области переработки сельскохозяйственной продукции должен понимать сущность технологических процессов, знать устройство, принцип работы и особенности применяемого технологического оборудования. Кроме того, он должен владеть методами расчета и анализа технико-экономических показателей работы технологического оборудования; находить рациональные и оптимальные технологические режимы эксплуатации оборудования, обеспечивая эффективную работу предприятий отрасли; уметь рассчитать основные параметры оборудования, расход электроэнергии, пара, воды; выбрать оптимальное оборудование.

В учебном пособии работы по расчетам машин и аппаратов расположены по технологическому признаку в соответствии с общепринятой классификацией оборудования отрасли для реализации пищевых технологий: оборудование для подготовки сырья к переработке; оборудование для измельчения, разделения, соединения, формования сырья, полуфабрикатов и готовой продукции; оборудование для тепломассообменных процессов; оборудование для мойки тары, упаковки и розлива продукции.

Приведенные в учебном пособии описания и расчеты применяемых видов оборудования отражают современное состояние аппаратурного оформления перерабатывающих производств.

Учебное пособие может быть полезно студентам для самостоятельного изучения отдельных разделов дисциплины.

Знания, приобретенные студентами при выполнении расчетно-проектных работ, позволят им не только более детально изучить устройство, принцип действия оборудования, методику его расчета, но и наметить основные пути его совершенствования и модернизации.

1 Оборудование для мойки сырья и очистки тары

1.1 Практическое занятие № 1

Расчет бутылкомоечной машины

Цель работы: изучить устройство и принцип действия бутылкомоечных машин; приобрести навыки их расчета.

1.1.1 Теоретические сведения

Значительная часть жидких пищевых продуктов выпускается в стеклянной таре. Стеклобутылки моют в специальных автоматах, обеспечивающих ее физическую и микробиологическую чистоту путем обработки особыми моющими растворами.

Бутылкомоечные машины классифицируют по различным признакам:

- по производительности: малые (1000 – 3000 бутылок в час), средние (5000 – 8000 бутылок в час), большие (10000 – 24000 бутылок в час);
- по способам мойки: шприцевые, отмочно-шприцевые, щеточные;
- по конструктивно-кинематическим признакам: цепные с различным числом отмочных ванн, бесцепные однованные, карусельные, барабанные (ротационные) непрерывного действия.

Наибольшее распространение получили отмочно-шприцевые цепные и бесцепные бутылкомоечные машины конвейерного типа. Отличаются они между собой по способу транспортирования бутылок внутри машины.

Принцип действия машин для мойки бутылок основан на их обработке растворами моющих средств при температуре в наиболее горячей ванне (75 ± 5) °С и концентрации моющего раствора от 0,7 % до 2,5 %. В качестве моющих средств часто применяют растворы гидроксида натрия, карбоната натрия и др.

Технологический процесс мойки бутылок складывается из следующих операций: удаление легкосмываемых загрязнений, предварительное отмачивание загрязнений в воде или моющем растворе, отмачивание в горячем растворе, смыв этикеток, внутреннее шприцевание и ополаскивание бутылок моющим раствором, горячей, теплой и холодной водой.

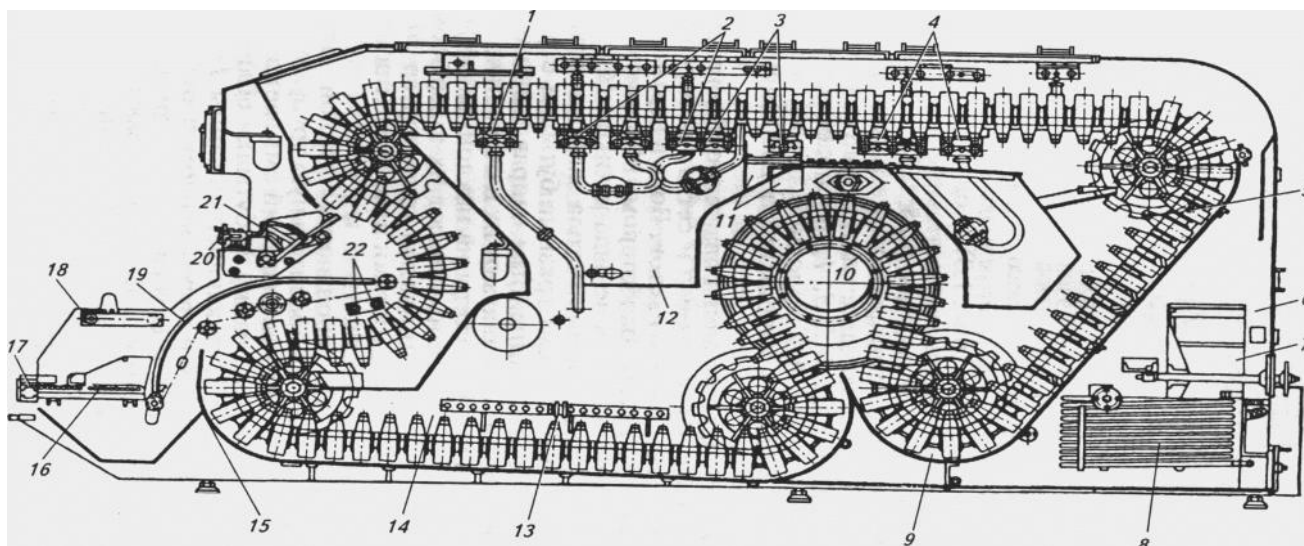
Продолжительность отмочки и шприцевания бутылок должна быть не менее 7,5 мин, в том числе шприцевания – не менее 1,67 мин.

Основные параметры бутылкомоечных машин стандартизированы. В таблице 1.1 приведены технические данные унифицированных бутылкомоечных автоматов АММ, предназначенных для мойки бутылок при производстве молочной продукции, вина, пива, безалкогольных напитков и др.

Бутылкомоечная машина АММ-6 (рисунок 1.1) – одна из наиболее распространенных в пищевой промышленности машин, предназначенных для мойки бутылок вместимостью 0,25; 0,33 и 0,50 л.

Таблица 1.1 – Основные технические данные бутылкомоечных автоматов

Показатель	АММ-1	АММ-6	АММ-12	АМ2М-6
Производительность, тыс. бутылок в час	1,5	6	12	6
Вместимость бутылок, л	0,25; 0,33; 0,5			
Продолжительность кинематического цикла, с	14,4	9,6	7,2	9,6
Число бутылконосителей	52	118	138	114
Число гнезд в бутылконосителе	6	16	24	16
Шаг цепи, мм	125			
Мощность установленных электродвигателей (суммарная), кВт	8,3	20,5	30	16,8
Габаритные размеры, мм				
длина	3650	6200	7460	5390
ширина	2050	3300	3840	3330
высота	1550	2700	2640	2635
Масса, кг	3000	10600	13500	11000



1, 2, 3, 4 – шприцевальные устройства; 5 – втулочно-роликовые цепи; 6 – корпус; 7 – сетчатый барабан; 8, 13 – теплообменник; 9, 14 – ванны для отмачивания бутылок; 10, 11 – ванны для приема моющих жидкостей; 15 – поперечные планки; 16 – валики; 17, 20 – пластинчатые транспортеры; 18 – оросительная труба; 19 – криволинейные направляющие; 21 – механизм загрузки; 22 – трубы.

Рисунок 1.1 – Бутылкомоечная машина АММ-6

В сварном корпусе 6 в нижней части расположены две ванны 9 и 14 для отмачивания бутылок. В верхней части корпуса смонтированы шприцевальные устройства 1, 2, 3, 4 для обработки бутылок щелочными растворами, теплой и холодной водой, а также ванны 11 и 12 для приема моющих жидкостей после шприцевания.

В нижних щелочных ваннах размещены два теплообменника 8 и 13 для подогревания щелочных растворов и сетчатый барабан 7 для улавливания из раствора смытых этикеток.

Вода в верхней водяной ванне подогревается паровым барботером.

Механизм загрузки бутылок в машину выполнен в виде ряда валиков 16, получающих вращение от привода. Все валики стола загрузки вращаются в одном направлении и переносят грязные бутылки с пластинчатого транспортера

17 к криволинейным направляющим 19, по которым поперечные планки 15 за-
двигают их в очередную кассету. Чистые бутылки выпадают из кассеты на
наклонные желоба механизма разгрузки 21, которые устанавливают их в верти-
кальное положение и сталкивают на пластинчатый транспортер 20.

Обработка бутылок моющими жидкостями в автомате производится в
следующей последовательности.

На столе загрузки бутылки орошаются теплой водой (от 25 °С до 30 °С),
стекающей из ванны 12 в оросительную трубу 18. При этом бутылки подогре-
ваются и часть загрязнений смывается.

Перед входом в первую отмочную ванну 14 бутылки обливаются из труб
22 слабощелочной водой, стекающей из ванны 11. Вода после орошения на
столе загрузки и перед входом в отмочную ванну сильно загрязнена, и потому
ее спускают в канализацию.

В первой щелочной ванне 14 загрязнения отмачиваются в щелочном рас-
творе концентрацией от 1 % до 2 % и температурой от 60 °С до 65 °С.

После выхода из первой ванны 14 кассеты обкатываются по барабану 10,
и в это время бутылки шприцуются щелочным раствором из форсунок для уда-
ления этикеток.

Во второй щелочной ванне 9 загрязнения отмачиваются в щелочном рас-
творе при температуре от 75 °С до 80 °С.

На верхнем горизонтальном участке трассы бутылки многократно шпри-
цуются изнутри и обливаются снаружи горячим щелочным раствором, теплой и
холодной водой.

Вымытые и охлажденные бутылки проходят несколько позиций для сте-
кания остатков воды, а затем выпадают из кассеты на стол разгрузки.

Привод машины состоит из электродвигателя, вариатора и червячного
редуктора.

Машина оснащена тремя насосными установками: одна – для смыва
намокших этикеток и создания направленного движения щелочного раствора в

отмочной ванне в сторону барабана этикеттоотборника, другая – для мойки бутылок щелочным раствором; третья – для мойки оборотной водой.

1.1.2 Методика расчета

Определение шага бутылконосителей и радиуса поворотных блоков

Размеры бутылкомоечных машин зависят от правильного выбора шага носителей и радиусов поворотных блоков. При уменьшении шага носителей уменьшается длина конвейера бутылконосителей и, следовательно, длина машины. В то же время уменьшение шага носителей неизбежно приводит к увеличению диаметров поворотных блоков и как следствие, к увеличению размеров машины.

Соотношение между шагом носителей S и радиусом поворотных блоков R можно определить с учетом свободного прохождения бутылконосителей через поворотные блоки (рисунок 1.2).

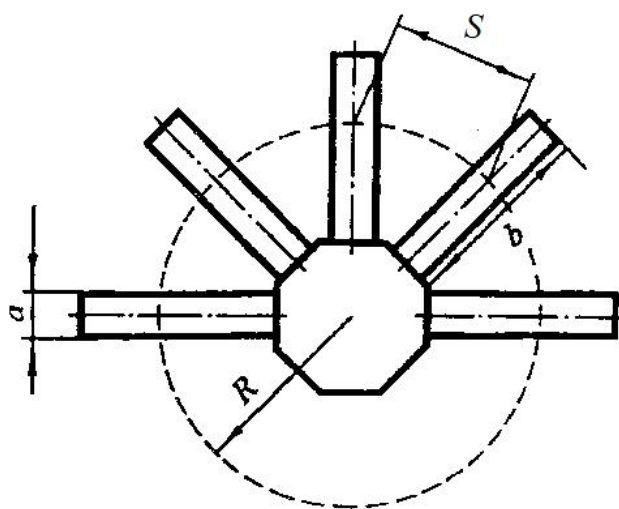


Рисунок 1.2 – Схема поворотного блока

Радиус поворотного блока, м,

$$R = \frac{b}{2} + \frac{a}{2} \operatorname{ctg} \frac{p}{z};$$

шаг носителей, м,

$$S = 2 \left(\frac{b}{2} + \frac{a}{2} \operatorname{ctg} \frac{p}{z} \right) \sin \frac{p}{z},$$

где a и b —соответственно ширина и высота носителя, м;

z — число носителей.

Оптимальные значения R и S должны соответствовать минимуму функции, представляющей собой их произведение. Приравнивая первую производную этой функции нулю, находим после ряда преобразований оптимальное число носителей на начальной окружности поворотного блока:

$$z_{onm} = \frac{p}{\operatorname{arctg}(-b/a)}.$$

Расчет привода транспортера бутылконосителей

Рабочий цикл машины, с,

$$T_p = \frac{3600u}{\Pi_T},$$

где u — число потоков в машине (принимают равным числу бутылок в бутылконосителе, $u = 24$);

Π_T — теоретическая производительность машины, бутылок в час.

Поскольку бутылкомоечная машина с прерывистым движением конвейера относится к машинам II класса, ее рабочий цикл равен кинематическому T_k .

Определение числа бутылконосителей и длины конвейера машины

Средняя скорость движения конвейера, м/с,

$$v_{cp} = S/T_p ,$$

где S – путь конвейера машины за время рабочего цикла T_p , м.

Минимальное теоретическое число бутылок, одновременно находящихся в машине,

$$B_T = \Pi_T T'_T / 3600 ,$$

где T'_T – длительность технологического цикла (время активной мойки), с.

Минимальное теоретическое число кассет

$$K_T = \frac{\Pi_T T'_T}{3600u} .$$

К этому минимальному числу кассет необходимо прибавить некоторое число кассет для вспомогательных операций (для загрузки и выгрузки бутылок, стекания капель моющей жидкости при переходе кассет из одной зоны в другую, неизбежный холостой ход кассет и т. д.).

Тогда действительное число бутылок, находящихся в машине,

$$B_D = B_T / k_n ,$$

а действительное число кассет

$$K_D = K_T / k_n ,$$

где k_n – коэффициент непрерывности, равный отношению той доли технологического цикла, которая действительно полезно используется, к общему времени технологического цикла ($k_n = 0,56$).

Полная длина конвейера, м,

$$L = SK_D .$$

Расчет режима гидродинамической обработки бутылок

Предельное количество моющей жидкости ($\text{м}^3/\text{с}$), подаваемой в бутылку,

$$m_1 = 0,64D^{1,63} ,$$

где D – внутренний диаметр горлышка бутылки, мм (для стандартной стеклянной бутылки при розливе пива $D = 0,017$ м; для молочной бутылки $D = 0,0335$ м).

Предельный диаметр сопла шприца, м,

$$d_1 = 1,1 \sqrt{\frac{D^{1,63}}{m \sqrt{2 p_1 / r}}},$$

где m – коэффициент расхода жидкости при истечении ее из отверстия ($m = 0,65 - 0,70$);

p_1 – давление моющего раствора в шприцевальных трубках, Па ($p_1 = 0,2 - 0,3$ МПа);

r – плотность моющего раствора, кг/м³; принимаем плотность моющего раствора, равную плотности воды, т. е. $r = r_{\text{в}} = 1000$ кг/м³.

Диаметр отверстия ополаскивающей форсунки, м,

$$d_2 = \sqrt{\frac{1,242 m_2}{m \sqrt{2 p_2 / r}}},$$

где m_2 – расход моющего раствора, необходимого для ополаскивания наружной поверхности бутылок, м³/с [для бутылок вместимостью 0,5 дм³

$$m_2 = (0,15 - 0,20) \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с};$$

m – коэффициент расхода жидкости при истечении ее из отверстия ($m = 0,65 - 0,70$);

p_2 – давление перед форсункой, Па [$p_2 = (0,5 - 0,6) \cdot 10^{-5}$ Па].

Определение подачи насосов и потребляемой ими мощности

Расход щелочного раствора на шприцевание и обливание бутылок, м³/с,

$$W_{щ.р.} = m \frac{p d_1^2}{4} n_1 \sqrt{2 p_1 / r} + m \frac{p d_2^2}{4} n_2 \sqrt{2 p_2 / r},$$

где m – коэффициент расхода жидкости при истечении ее из отверстия ($m = 0,65$);

d_1 – диаметр отверстий в шприцевальных трубках, мм;

d_2 – диаметр отверстия в орошающих трубках, мм;

n_1 и n_2 – общее число отверстий соответственно в шприцевальных и орошающих трубках;

p_1 и p_2 – давление моеющего раствора соответственно в шприцевальных и орошающих трубках, МПа.

Мощность, потребляемая насосом щелочного раствора, кВт,

$$N_1 = \frac{10^{-3} W_{щ.р.} p}{h_n h_{дв}},$$

где p – давление щелочного раствора, МПа ($p = 0,2 \dots 0,3$ МПа);

h_n – КПД насоса ($h_n = 0,5$);

$h_{дв}$ – КПД двигателя ($h_{дв} = 0,85$).

Расход воды на шприцевание и обливание бутылок, м³/с,

$$W_в = m \frac{p}{4} \left(d_1^2 n_1' \sqrt{2 p_1 / r} + d_2^2 n_2' \sqrt{2 p_2 / r} \right).$$

Мощность, потребляемая насосом, перекачивающим воду, кВт,

$$N_1 = \frac{10^{-3} W_в p}{h_n h_{дв}}.$$

Определение расхода пара

Расчет производят по методу теплового баланса. Составляют уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7,$$

где Q_1 – приход теплоты с бутылками, кДж,

$$Q_1 = G_6 c_{cm} t_{н.б.};$$

Q_2 – приход теплоты с холодной водой, кДж,

$$Q_2 = W_1 c_в t_{н.в.};$$

Q_3 – приход теплоты с греющим паром, кДж,

$$Q_3 = D_n i;$$

Q_4 – расход теплоты с уходящими бутылками, кДж,

$$Q_4 = G_6 c_{cm} t_{к.б.};$$

Q_5 – расход теплоты с водой, сливаемой в канализацию, кДж,

$$Q_5 = W_2 c_в t_{к.в.};$$

Q_6 – расход теплоты с конденсатом пара, кДж,

$$Q_6 = D q ;$$

Q_7 – потери теплоты в окружающую среду, кДж (принимают равными 20 % расхода теплоты),

$$Q_7 = 0,2 \sum_{i=1}^3 Q_i ,$$

где G_6 – масса бутылок, поступающих в машину, кг/с,

$$G_6 = m_6 \Pi_T / 3600 ;$$

m_6 – масса одной бутылки вместимостью 0,5 дм³ ($m_6 = 0,485$ кг);

c_{cm} – удельная теплоемкость стекла [$c_{cm} = 0,84$ кДж/(кг·К)];

W_1 – расход холодной воды, кг/ч (при установившемся режиме работы равен расходу отработанной воды, в расчете принимают $W_6 = W_1 = W_2$);

D_n – расход пара, кг/с;

i – энтальпия греющего пара ($i = 2724$ кДж/кг);

q – энтальпия конденсата ($q = 557,3$ кДж/кг);

$t_{н.б.}$ – начальная температура грязных бутылок ($t_{н.б.} = 5$ °С);

$t_{н.в.}$ – температура холодной воды ($t_{н.в.} = 8$ °С);

$t_{к.б.}$ – температура чистых бутылок ($t_{к.б.} = 37$ °С);

$t_{к.в.}$ – температура отработавшей воды ($t_{к.в.} = 35$ °С);

t_k – температура конденсата ($t_k = 99$ °С);

p – давление греющего пара ($p = 1,695$ МПа);

$t_{н.р.}$ – начальная температура моющей жидкости ($t_{н.р.} = 20$ °С).

Тогда расход пара, кг/с,

$$D_n = 1,2 \frac{G_b c_{cm} (t_{к.б.} - t_{н.б.}) + W c_v (t_{к.в.} - t_{н.в.})}{i - q}.$$

где c_v – удельная теплоемкость воды [$c_v = 4,186$ кДж/(кг·К)].

Однако здесь не учтен расход пара на нагревание моющей жидкости перед пуском машины.

Учитывая малую массовую долю щелочных растворов, будем считать их теплоемкость такой же, как и воды.

Расчет трубчатого подогревателя раствора в первой ванне

Расход теплоты на нагревание раствора в первой ванне

$$\Delta Q_8 = W_{щ.р.} c_v (t_{к.р.} - t_{н.р.}),$$

где $t_{к.р.}$, $t_{н.р.}$ – соответственно конечная и начальная температуры щелочного раствора, °С ($t_{к.р.} = 65$ °С; $t_{н.р.} = 20$ °С).

Средняя разность температур, °С,

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln(\Delta t_{\delta} / \Delta t_m)};$$

$$\Delta t_{\text{с}} = t_n - t_{\text{н.р.}}; \Delta t_{\text{м}} = t_n - t_{\text{к.р.}},$$

где $\Delta t_{\text{с}}$ – разность температур греющего пара и начальной температуры щелочного раствора;

$\Delta t_{\text{м}}$ – разность температур греющего пара и конечной температуры щелочного раствора;

t_n – температура греющего пара ($t_n = 133$ °C).

Площадь поверхности теплопередачи, м²,

$$F = Q_8 / (kt\Delta t_{\text{ср}}),$$

где k – коэффициент теплопередачи между трубами подогревателя и раствором в первой ванне [$k = 10$ кВт/(м² · К)];

t – время нагревания, ч.

Найдем полную длину труб:

$$L_{\text{тр}} = F / \pi d_{\text{н}},$$

где $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр труб подогревателя, м ($d_{\text{н}} = 0,06$ м).

Полная длина трубы, м,

$$l' = L_{\text{тр}} / n,$$

где n – число труб в подогревателе (в расчете принимают $n = 15$).

Задание. Рассчитать бутылкомоечную машину, если заданы: ширина a и высота b бутылконосителя, производительность машины Π_T , продолжительность технологического цикла (время активной мойки) T_1 число отверстий в шприцевальных трубках щелочного раствора n_1 , число отверстий в опрыскивающих трубках для щелочного раствора n_2 , число отверстий в шприцевальных трубках для подачи воды n'_1 число отверстий в опрыскивающих трубках для подачи воды n'_2 продолжительностью нагревания раствора t .

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 1.2.

Контрольные вопросы и задания. 1. Какие моющие средства используют для мойки стеклянной тары? 2. Из каких операций складывается технологический процесс мойки стеклотары? 3. Каков механизм удаления загрязнений с отмываемой поверхности? 4. Укажите предельно допустимые температуры нагревания и охлаждения бутылок.

Таблица 1.2 – Варианты индивидуальных заданий

Вариант	a , м	b , м	P_T , бут/ч	T_n , с	n_1	n_2	n_1	n_2	t , с
1	0,085	0,255	12000	560	144	48	216	120	1800
2	0,080	0,250	12000	540	140	44	212	116	1770
3	0,075	0,245	12000	520	136	40	208	112	1740
4	0,090	0,260	12000	580	132	36	204	108	1710
5	0,095	0,265	12000	600	148	52	200	104	1830
6	0,085	0,255	6000	620	152	56	220	124	1860
7	0,080	0,250	6000	560	160	48	228	132	1920
8	0,075	0,245	6000	560	160	48	228	132	1920
9	0,090	0,260	6000	540	144	44	216	120	1800
10	0,095	0,265	6000	520	140	40	212	116	1770
11	0,085	0,255	9000	580	136	36	208	112	1740
12	0,080	0,250	9000	600	132	52	204	108	1710
13	0,075	0,245	9000	620	148	56	200	104	1830
14	0,090	0,260	9000	640	152	60	220	124	1860
15	0,095	0,265	9000	560	156	48	224	128	1890

1.2 Практическое занятие № 2

Расчет машины для мойки плодов и овощей

Цель работы: изучить устройство и принцип действия линейной моечной машины, приобрести практические навыки по расчету моечных машин.

1.2.1 Теоретические сведения

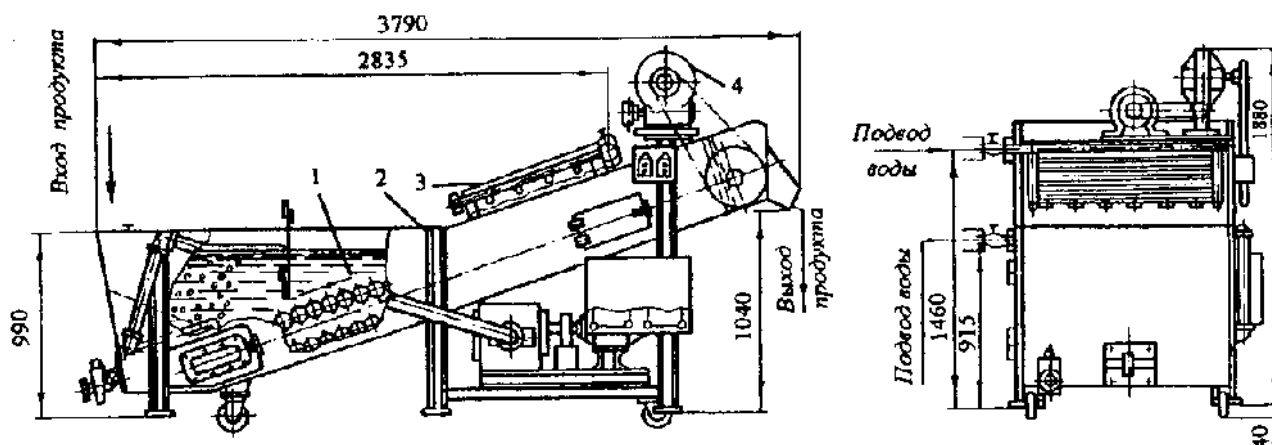
Для мойки сырья используется обычно проточная или оборотная водопроводная вода. После отмочки загрязнения с поверхности сырья удаляются щетками или жидкостными струями.

Из многообразия моечных машин наибольшее распространение получили лопастные, ленточные, барабанные, вибрационные, комбинированные, элеваторные, щеточные. Выбор моечной машины определяется структурно-механическими и прочностными свойствами растительного сырья, а также характером и количеством загрязнений на поверхности сырья.

Мойку растительного сырья производят погружением в воду (отмочка), ополаскиванием струями воды из насадок, использованием щеточных устройств, активным перемешиванием. В большинстве моечных машин применяют комбинацию перечисленных способов мойки.

Мойка предусматривает удаление с поверхности сырья остатков земли, песка, посторонних тяжелых и легких примесей (камни, листья, ветки, солома и др.). Для каждого вида сырья требуется свой способ и режим мойки.

Линейная моечная машина (рисунок 1.3) предназначена для мойки различных овощей и плодов как с мягкой, так и с твердой структурой. Она состоит из ванны 1, транспортерного полотна 2, душевого устройства 3 и привода 4. На каркасе ванны 1 смонтированы все узлы моечной машины.



1 – моечная ванна; 2 – транспортное полотно; 3 – душевое устройство;
4 – привод

Рисунок 1.3 – Линейная моечная машина

При работе машины плоды поступают в моечное пространство ванны непрерывно. Для более интенсивной мойки загрязненный продукт активно перемешивается подводимым от нагнетателя сжатым воздухом. Вымытый продукт из моечного пространства перемещается наклонным транспортером, в верхней части которого он ополаскивается водой из душевого устройства.

Выгрузка продукта производится через лоток, регулируемый по высоте. Величина слоя продукта, поступающего на транспортное полотно, регулируется заслонкой. Вода, поступающая в ванну через ополаскивающий душ, удаляется через сливную щель. Чистка ванны производится через грязевой люк и боковые окна.

1.2.2 Методика расчета

Расчет размеров ванны

Производительность P_T , кг/с, линейных моечных машин определяется производительностью рабочего транспортера

$$\Pi_T = b h_c j_c r_c v_c,$$

где b – ширина рабочей части транспортера, м (определяется шириной инспекционного транспортера, которая составляет от 0,6 до 0,9 м);

h_c – высота слоя сырья, м (таблица 1.3);

j_c – коэффициент использования транспортера ($j_c = 0,6 - 0,7$);

r_c – насыпная плотность сырья, кг/м³ (таблица 1.3);

v_c – скорость транспортера, м/с.

Таблица 1.3 – Насыпная плотность плодов и овощей

Сырье	Высота слоя сырья h_c , м	Насыпная плотность r_c , кг/м ³
Кабачки	0,14	450–500
Перец	0,08	200–300
Баклажаны	0,16	330–430
Томаты	0,06	580–630
Лук	0,05	490–520
Яблоки	0,07	430–579
Груши	0,06	450–610
Сливы	0,03	530–680
Морковь	0,05	560–590

Время отмочки сырья t , с определено полезным объемом ванны W_n , м³

$$t = W_n r_c / \Pi_T.$$

Полезный объем ванны определяется площадью зеркала воды в ванне F_3 , м². При обычной призматической форме ванны

$$W_n = F_3 H_m / 2,$$

где H_m – глубина наиболее погруженной точки несущей ветви транспортера (обычно $H_m = 0,5 - 0,7$ м).

Площадь зеркала воды в ванне моечной машины F_3 , м²,

$$F_3 = AB,$$

где A – длина зеркала воды в ванне, м;

B – расстояние между боковыми стенками ванны, м ($B = b + 0,1$).

Расчет барботера

Количество воздуха и необходимый напор, под которым он должен подаваться в барботер, определяются размерами зеркала воды в ванне и глубиной погружения отверстия истечения воздуха из барботеров. Практикой эксплуатации моечных машин установлена следующая норма: $0,025 \text{ м}^3$ воздуха в минуту на 1 м^2 площади зеркала воды, то есть

$$W_{\text{в}} = 0,025 F_3.$$

Нагнетатель воздуха для моечной машины выбирается по расходу воздуха $W_{\text{в}}$ и необходимому напору $p_{\text{в}}$.

Поскольку длина воздуховода для подвода воздуха к барботерам и скорость воздуха в воздуховоде малы, потерями по длине воздуховода можно пренебречь, тогда,

$$p_{\text{в}} = \left(1 + \sum z\right) \frac{\rho_{\text{в}} v_{\text{в}}^2}{2} + \rho_{\text{жс}} h_{\text{жс}} g, \text{ Па},$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м^3 ($\rho_{\text{в}} = 0,00129 \text{ кг/м}^3$);

$v_{\text{в}}$ – скорость воздуха в воздуховоде, м/с ($v_{\text{в}} \leq 10 \text{ м/с}$);

$\sum z$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений ($\sum z = 0,30 - 0,45$);

$\rho_{\text{жс}}$ – плотность воды, кг/м^3 ($\rho_{\text{жс}} = 1000 \text{ кг/м}^3$);

$h_{\text{жс}}$ – глубина погружения в воду отверстий барботера, м ($h_{\text{жс}} = H_m + 0,1$);

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Мощность электродвигателя для привода нагнетателя воздуха $N_{\text{в}}$, кВт,

$$N_{\text{в}} = W_{\text{в}} p_{\text{в}} / (1000 h_{\text{в}}),$$

где $W_{\text{в}}$ – расход подаваемого воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$;

$p_{\text{в}}$ – необходимый напор, Па ($p_{\text{в}} = 0,15 - 0,20$ МПа);

$h_{\text{в}}$ – КПД нагнетателя ($h_{\text{в}} = 0,6 - 0,8$).

Расчет душевого и шприцевого устройств

Мощность, необходимая для привода центробежного насоса, подающего жидкость к душевым или шприцевым устройствам $N_{\text{жс}}$, кВт,

$$N_{\text{жс}} = Q_{\text{жс}} p_{\text{жс}} / (1000 h_{\text{н}}),$$

где $Q_{\text{жс}}$ – расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;

$p_{\text{жс}}$ – напор жидкости у насоса, Па;

$h_{\text{н}}$ – КПД насоса ($h_{\text{н}} = 0,70 - 0,85$).

Расход жидкости $Q_{\text{жс}}$, $\text{м}^3/\text{с}$,

$$Q_{\text{жс}} = 0,25 \pi d^2 n \sqrt{2 p_{\text{и}} / \rho_{\text{жс}}},$$

где m – коэффициент расхода (для цилиндрического насадка $m = 0,82$; для конического сходящегося $m = 0,95$; для конического расходящегося $m = 0,48$; вид насадка выбирается самостоятельно);

d – диаметр отверстия барботера, м (выбирается равным 0,75; 1,25; 1,50 мм в зависимости от вида перерабатываемого сырья, меньшие значения выбираются для мелких плодов и овощей);

n – количество одинаковых отверстий барботера (в расчете принимается $n = 50 - 60$);

$p_{\text{и}}$ – напор жидкости у отверстия истечения, Па ($p_{\text{и}} = 0,2 - 0,3$ МПа);

$\rho_{\text{жс}}$ – плотность моющей жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$ ($\rho_{\text{жс}} = 1000$ $\text{м}^3/\text{кг}$).

Напор жидкости у насоса

$$p_{\text{жс}} = p_{\text{и}} + p_{\text{н}},$$

где p_n – потеря напора от местных и путевых сопротивлений, Па.

Потеря напора, Па,

$$p_n = 0,5 r_{жс} v_{жс}^2 \left(1 + \sum z + l_{жс} l_m / d_m \right),$$

где $v_{жс}$ – скорость жидкости в трубопроводе, м/с ($v_{жс} \leq 2$ м/с);

$\sum z$ – коэффициент местного сопротивления (выбирается по справочнику, в расчете принимается $\sum z = 0,85$);

$l_{жс}$ – коэффициент сопротивления трения по длине трубопровода;

l_m – длина трубопровода, м;

d_m – диаметр трубопровода, м.

Коэффициент сопротивления трения по длине трубопровода определяется по следующим формулам:

$$\text{при } Re \leq 100000 \quad l_{жс} = 0,3164 / Re^{0,25};$$

$$\text{при } Re \geq 100000 \quad l_{жс} = \left[0,555 / \lg(Re/7) \right]^2,$$

где Re – число Рейнольдса

$$Re = v_{жс} d_m / \nu_{жс};$$

$\nu_{жс}$ – кинематическая вязкость рабочей жидкости ($\nu_{жс} = 1,01 \cdot 10^{-6}$ м²/с).

Расчет основного транспортера

Мощность N_{mp} , кВт, для привода основного транспортера

$$N_{mp} = A_m v_c / (1000h),$$

где A_m – тяговое усилие транспортера, Н;

v_c – скорость транспортера, м/с;

h – КПД передаточных механизмов ($h = 0,61 - 0,78$).

Тяговое усилие определяется методом обхода контура с учетом максимальной загрузки. Ориентировочно тяговое усилие A_m , Нм, можно определить по формуле

$$A = [0,215(q_0 L_2 + qL) + 50] g ,$$

где q_0 – масса полезной нагрузки на 1 м транспортера, кг ($q_0 = 8 - 12$ кг);

q – масса 1 м транспортера без груза, кг ($q = 4,4 - 5,1$ кг);

L_2 – длина груженной части транспортера, м ($L_2 = 0,65L$);

L – длина транспортера, м;

g – ускорение свободного падения.

Задание: выполнить расчет линейной моечной машины, если заданы: скорость транспортера v_c , м/с; длина зеркала воды в ванне A , м; диаметр трубопровода d_m м; длина трубопровода l_m м; длина транспортера L , м; вид перерабатываемого сырья.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 1.4.

Контрольные вопросы. 1. Какие виды моечных машин вы знаете? 2. Каково устройство и принцип работы линейной моечной машины? 3. Какие моющие растворы применяются для мойки тары и санитарной обработки оборудования в пищевой промышленности? 4. Каков механизм удаления загрязнений с отмываемой поверхности? 5. За счет чего можно интенсифицировать процесс мойки пищевого растительного сырья? 6. От каких параметров зависит производительность линейной моечной машины? 7. За счет каких факторов можно повысить эффективность работы линейных моечных машин? 8. Какими способами производится мойка растительного сырья?

Таблица 1.4 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Скорость транспор- тера v_c , м/с	Длина зеркала воды A , м	Диаметр трубопро- вода d_m , м	Вид пере- раба- тываемого сырья	Длина трубопро- вода l_m , м	Длина транспор- тера L , м
1	0,137	1,94	0,40	Кабачки	8,0	3,6
2	0,141	1,92	0,38	Перец	8,5	3,8
3	0,145	1,90	0,36	Баклажаны	9,0	3,4
4	0,149	1,88	0,34	Томаты	9,6	4,0
5	0,153	1,86	0,32	Лук	10,0	3,2
6	0,157	1,84	0,30	Яблоки	10,5	3,1
7	0,161	1,82	0,28	Груши	11,0	3,9
8	0,165	1,80	0,40	Сливы	11,5	3,3
9	0,169	1,81	0,38	Морковь	12,0	3,7
10	0,173	1,83	0,36	Кабачки	8,3	3,5
11	0,139	1,85	0,34	Перец	8,8	3,5
12	0,143	1,87	0,32	Баклажаны	9,3	3,6
13	0,147	1,89	0,30	Томаты	9,7	3,8
14	0,151	1,91	0,28	Лук	10,3	3,4
15	0,155	1,93	0,40	Яблоки	10,8	4,0
16	0,159	1,78	0,38	Груши	11,2	3,2
17	0,163	1,76	0,36	Сливы	11,6	3,1
18	0,167-	1,74	0,34	Морковь	11,9	3,9
19	0,171	1,72	0,32	Перец	8,0	3,3
20	0,182	1,70	0,30	Баклажаны	8,5	3,7
21	0,180	1,71	0,28	Томаты	9,0	3,5
22	0,178	1,73	0,42	Лук	9,6	3,7
23	0,176	1,75	0,44	Яблоки	10,0	3,9
24	0,174	1,77	0,46	Груши	10,5	4,2
25	0,170	1,79	0,48	Сливы	11,0	4,4

2 Оборудование для сортировки и калибровки сырья

2.1 Практическое занятие № 1

Расчет цилиндрического триера

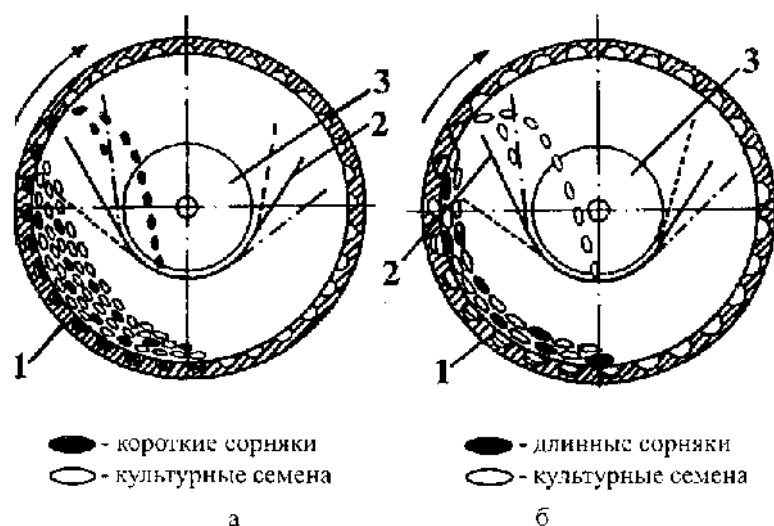
Цель работы: изучение теоретических основ процесса разделения сыпучих зернистых смесей по линейному размеру; знакомство с классификацией триеров, их конструкциями и принципом действия; приобретение практических навыков по расчету триеров.

2.1.1 Теоретические сведения

Триеры предназначены для разделения зернового материала по длине. Известны следующие виды триеров: цилиндрические, дисковые, лопастные, ленточные, причем только первые и вторые нашли широкое применение в промышленности.

Цилиндрический триер (рисунок 2.1) состоит из двух основных частей: цилиндра с ячейками на внутренней поверхности и находящегося внутри него желоба со шнеком.

При вращении цилиндра с зерном в ячейки триера попадают из смеси частицы зернового материала, длина которых меньше диаметра ячеек, и поднимаются вверх; падают в желоб, находящийся внутри цилиндра и выводятся наружу шнеком. В цилиндре остаются частицы, длина которых больше диаметра ячеек и которые не укладываются в них по длине, и выходят сходом по цилиндру с другой стороны. Триеры, выделяющие из зернового материала короткие примеси (например, куколь, битое зерно), называются кукольными. У них очищенное зерно выходит из цилиндра, а примеси – из желоба.



а – кукольный триер; б – овсюжный триер; 1 – цилиндр; 2 – желоб; 3 – шнек
Рисунок 2.1 – Схема работы триеров

Триеры, предназначенные для отделения длинных зерновых примесей, называют овсюжными. В них зерно выходит из желоба, а примеси – из цилиндра. У выходного конца овсюжного цилиндра устанавливают кольцо – диафрагму, которая способствует образованию слоя зернового материала внутри цилиндра.

Цилиндрические триеры с внутренней ячеистой поверхностью изготавливаются одинарного и двойного действия. Триеры одинарного действия имеют по всей длине цилиндра ячейки одного типа и размера и выделяют только короткие или только длинные примеси. Триеры двойного действия на различных участках цилиндра по длине имеют ячейки двух размеров для отделения длинных и коротких примесей.

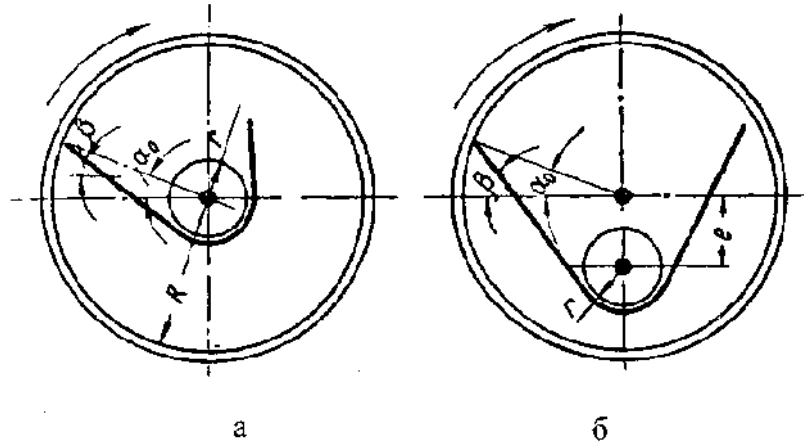
Формы и размеры ячеек триеров. Форма триерных ячеек определяется способом изготовления, и по этому признаку они могут быть штампованные, фрезерованные и литые. Наибольшее распространение получили стальные цилиндры со штампованными ячейками, как наиболее прочные и дешевые в изготовлении. Форма и размеры штампованных ячеек берутся согласно государственному стандарту на триерные цилиндры. Штампованные ячейки в плане круглые, а в разрезе по окружности цилиндра – ковшеобразные.

Штампованные ячейки располагаются в шахматном порядке с шагом

$$t = 0,6 + 1,2d,$$

где d – входной диаметр ячеек, мм.

Желоб и шнек триера. Для приема и отвода зерна и примесей, выбранных ячейками, служат желоб и шнек. Относительно оси триера шнеки располагают концентрично и эксцентрично (рисунок 2.1).



а – концентричная; б – эксцентричная

Рисунок 2.2 – Схемы расположения шнеков в триерах

Шнеки триеров однозаходные. Угловая частота вращения шнека одинакова с угловой частотой вращения триерного цилиндра.

Профиль желоба должен быть таким; чтобы зерна, выпадающие из ячеек, при своем падении не перелетали через нерабочий край желоба. Траектория полета зерен, выпадающих из ячеек, – парабола.

2.1.2 Методика расчета

Определение размеров триерного цилиндра

Зададимся вначале окружной скоростью, которая принимается для тихоходных триеров $v_m = 0,25 - 0,50$ м/с; для быстроходных – $v_b = 0,90 - 1,40$ м/с.

Для мелких семян берут меньшие скорости. Наклон оси тихоходных триеров доходит до 5,5 °, а быстроходных от 1,0 ° до 2,5 °.

Пользуясь данными таблицы 2.1, выберите размер ячеек триера. В зависимости от назначения триера и вида очищаемой культуры триерные цилиндры изготавливаются с размерами ячеек 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,1; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,6; 6,3; 7,1; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,5; 11,2; 11,8; 12,5 мм.

Таблица 2.1 – Данные для подбора триерных ячеек

Культура	Масса 1000 шт. зерен, кг	Диаметр ячеек, мм, для выделения примесей		Длина семян, мм	Насыпная плотность, кг/м ³	Угол естественного откоса, град	Коэффициент трения по стали
		коротких	длинных				
Пшеница	0,022–0,42	4,5; 5,0	8,0; 8,5; 9,0	8,3–11,5	700–830	25	0,36
Рожь	0,013–0,032	5,0; 5,6; 6,3	8,5; 9,0; 9,5	5,0–9,8	650–790	28–30	0,37
Ячмень	0,031–0,051	5,6; 6,3; 7,1	11,2; 11,8; 12,5	8,4–10,8	550–750	30–34	0,40
Овес	0,020–0,042	8,0; 8,5; 9,0	-	8,0–18,6	400–510	37–39	0,37
Гречиха	0,021–0,026	5,0	8,5	4,2–6,2	700–750	28	0,40
Просо	0,006	2,5; 3,15	-	1,8–3,2	800–900	20–22	0,44
Рис	0,024–0,031	6,3; 7,1	-	5,0–7,0	500–550	28	0,40
Чечевица	0,046–0,050	4,5	8,0	5,2–8,5	800–900	25–27	0,39
Лен	0,004–0,008	3,15; 3,5; 4,0	5,0	3,5–7,0	660–700	33–36	0,37
Кукуруза	0,245–0,345	8,5; 9,0; 9,5	11,2	5,5–13,5	750–850	16,3	0,36

Длина L , м, триерного барабана в первом приближении определяется по формуле Г.Т. Павловского:

$$L = \frac{53Ga}{Dkde n} = \frac{2,77Ga}{kde v_m},$$

где G – производительность триера, кг/ч;

a – содержание коротких зерен в исходном материале, %;

D – диаметр триерного цилиндра, м ($D = 2R$);

k – количество ячеек на 1 м² триерной поверхности,

$$k = 8 \cdot 10^7 (d^2 + d + 0,25)^{-1};$$

d – диаметр ячейки, мм;

d – вместимость одной ячейки (количество зерен в одной ячейке $d = 1$);

e – коэффициент использования ячеистой поверхности (в предварительных расчетах можно принять $e = 0,5$ – для триеров, отделяющих длинные зерновые примеси; $e = 0,1$ – для триеров, отделяющих короткие зерновые примеси и битое зерно),

$$e = G/q_2,$$

где q_2 – расчетная производительность, т. е. максимальная масса зерна, которая может быть выбрана ячейками при условии их заполнения,

$$q_2 = Lkv_m\Delta_2,$$

где L – длина цилиндра, м;

k – количество ячеек на 1 м² триерной поверхности;

v_m – окружная скорость цилиндра, м/с ($v_m = \omega R$);

Δ_2 – средняя масса зерна, выбираемого одной ячейкой, кг (таблица 2.1).

Диаметр триерного цилиндра ориентировочно равен:

для тихоходных триеров

$$D = L/4,$$

для быстроходных триеров

$$D = L/1,25 - 3,75.$$

Расчетная угловая частота вращения ω , с⁻¹:

для тихоходных триеров

$$w_m = \frac{K_m p}{\sqrt{R}}$$

для быстроходных триеров

$$w_6 = \frac{K_6 p}{\sqrt{R}},$$

где K – показатель кинематического режима триера ($K_m = 0,15 - 0,30$ – для тихоходных триеров; $K_6 = 0,50 - 0,75$ – для быстроходных триеров).

Расчетная рабочая площадь поверхности триера F_p , m^2 , равна

$$F_p = G/q,$$

где q – удельная нагрузка на $1 m^2$ триерной поверхности, $kg/(m^2 \cdot ч)$, ($q = 125 - 185$ $kg/ч$ – для тихоходных триеров; $q = 400 - 1100$ $kg/ч$ – для быстроходных триеров).

Сопоставьте расчетную рабочую площадь поверхности F_p с полученной по формуле теоретической площадью поверхности F_m

$$F_m = nDL.$$

При существенном расхождении F_p и F_m подберите новое уточненное значение удельной нагрузки на $1 m^2$ триерной поверхности q .

Таблица 2.2 – Удельная нагрузка триеров

Культура	Удельная нагрузка триеров, $kg/(m \cdot ч)$
Пшеница	630 – 1100
Рожь	630 – 1100
Ячмень	510 – 580
Овес	380 – 430
Рис	200 – 210
Гречиха	170
Лен	110
Клевер, люцерна	80
Тимофеевка	50

По полученным значениям рабочей поверхности окончательно выберите диаметр и длину триерного цилиндра (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Размеры триерных цилиндров

Длина цилиндра L , мм	Внутренний диаметр цилиндра D , мм			
	400	500	600	800
	Площадь триерной поверхности цилиндра, м			
750	0,942	1,177	-	-
1500	1,884	2,355	2,826	-
2250	-	3,532	4,240	5,652
536	-	-	5,652	7

От длины триерного цилиндра зависит время пребывания зерна в нем, а следовательно, качество разделения. После уточнения длины и диаметра триерного цилиндра проверьте выполнение соотношения $L/D = 4,5 - 16$

Для мелких семян выбирается большее соотношение. Потребная мощность N , кВт, привода триера

$$N = 2 \cdot 10^{-4} G / \eta_{np},$$

где G – производительность триера, кг/ч;

η_{np} – КПД привода триера ($\eta_{np} = 0,8 - 0,9$).

Расчет шнека триера

Радиус шнека для обеспечения необходимого угла ската зерна по рабочей стенке желоба во время работы:

- для концентрично расположенного шнека

$$r \geq R \sin(j - \alpha_0),$$

- для эксцентрично расположенного шнека

$$r \geq R \sin(j - \alpha_0) - e \cos j,$$

где R – радиус триерного цилиндра, м;

j – угол трения зерна по материалу желоба,

$$j = \arctg f ,$$

где f – коэффициент трения (таблица 2.1);

a_0 – центральный угол установки желоба над горизонтальным диаметром (рисунок 2.2).

Дальность полета зерна по горизонтали

$$2a = \frac{w^2 R^2}{g} \sin 2a .$$

Высота полета зерна по вертикали равна

$$b = \frac{w^2 R^2}{2g} \cos^2 a = \frac{w^2 R^2}{2g} \sin^2 b$$

где $b = 90 - a$ – угол сбрасывания зерна;

a – угол подъема зерна ячейкой над горизонтальным диаметром,

$$a = j + \arcsin(K \cos j) ;$$

j – угол естественного откоса зерна в движении, град (таблица 2.1);

K – показатель кинематического режима триера ($K_m = 0,15 - 0,30$ – для тихоходных триеров; $K_b = 0,50 - 0,75$ – для быстроходных триеров).

a_0 – угол выпадения зерна из ячеек; a_{c2} – предельный угол скольжения частиц; $a_{отв}$ – предельный угол отрыва.

Диаметр шнека $d_{ш}$, м, желоба определяется из формулы

$$d_{ш} = S = 36 \sqrt[3]{G'/n} , \quad d_{ш} = \sqrt{\frac{4G'}{60 \rho n S r f y}} ,$$

где $G' = G$ – для овсюжных триеров;

$G' = 0,15G$ – для кукольных триеров;

S – шаг шнека, м (обычно $S = d_{ш}$);

n – частота вращения шнека, об/мин;

r – насыпная плотность зерна, кг/м³ (таблица 2.1);

f – коэффициент наполнения ($f = 0,25$);

y – коэффициент скорости ($y = 0,6$).

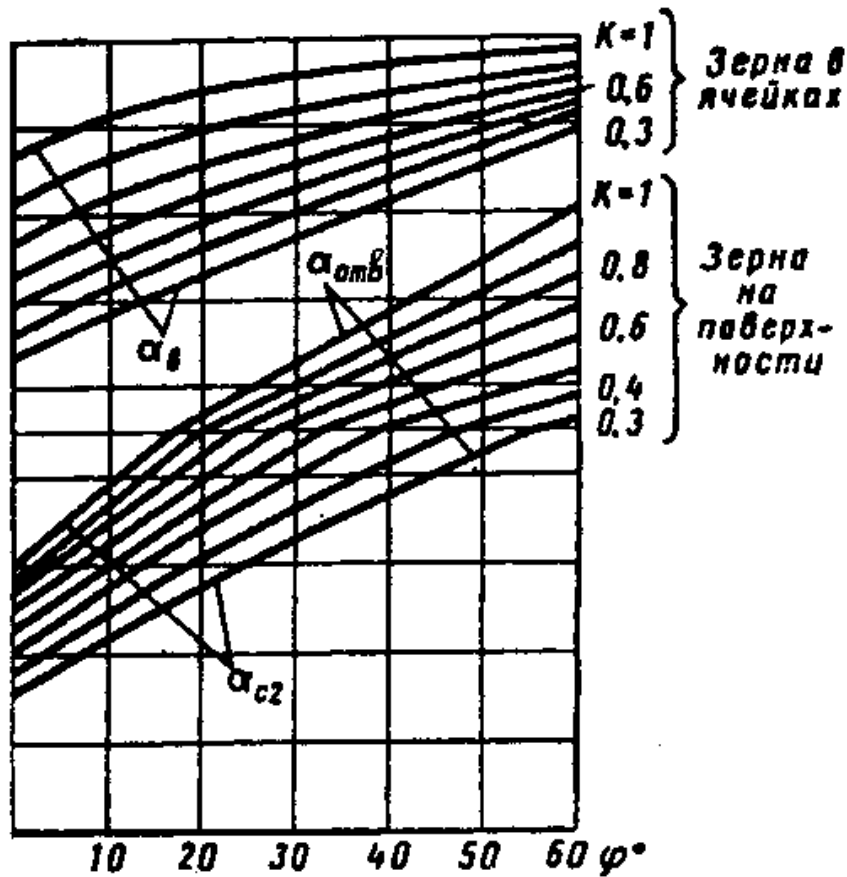


Рисунок 2.3 – Зависимость углов α от j при различных K

Радиус r , мм, закругления дна желоба

$$r = 0,5d_{ш} + (5-8).$$

Наибольшая толщина g , м, слоя зернового сегмента

$$g = R - \sqrt{R^2 - \frac{2G}{wv_l r}},$$

где v_l – скорость осевого движения зерна, м/с (ориентировочно $v_l = 0,044 - 0,065$ м/с – для тихоходных триеров с наклонной осью; $v_l = 0,027 - 0,038$ м/с – для быстроходных триеров с горизонтальной осью);

γ – насыпная плотность зерна, кг/м³ (таблица 2.1).

Задание: выполнить расчет цилиндрического триера одинарного действия, если заданы: исходный зерновой материал; содержание примесей в исходном материале a , %; производительность G , кг/ч; вид триера.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Зерновая культура	Вид примесей	Производительность G , кг/ч	Вид триера	Содержание примесей a , %
1	Пшеница	Короткие	400	Тихоходный	12,5
2	Рожь		320		11,6
3	Ячмень		380		9,8
4	Овес		340		13,6
5	Гречиха		160		12,2
6	Просо		70		10,7
7	Рис		160		9,7
8	Чечевица		290		12,8
9	Кукуруза		310		11,4
10	Пшеница	Длинные	250	Быстроходный	10,5
11	Рожь		400		9,5
12	Ячмень		320		12,5
13	Чечевица		370		8,7
14	Гречиха		140		14,1
15	Овес		80		11,0
16	Рис		180		13,9
17	Лен		380		13,3
18	Кукуруза		330		12,4
19	Пшеница	Короткие	300	Тихоходный	10,1
20	Рожь		290		10,7
21	Ячмень		300		11,4
22	Чечевица		280		13,8
23	Гречиха		120		13,6
24	Лен		100		6,9
25	Рис		130		8,7

Контрольные вопросы. По какому признаку триеры классифицируются на тихоходные и быстроходные? 2 В чем состоит отличие овсюжных триеров от кукольных? 3 Чему равно предельное число оборотов триера? 4 Как форма и размеры ячеек на внутренней поверхности триера влияют на эффективность его работы? 5 От каких факторов зависит угол подъема зерна ячейкой триера? 6 Какие параметры определяют выбор радиуса шнека триера? 7 Каково устройство и принцип действия дискового триера? 8 Как определяется и что характеризует кинематический показатель K работы триера? 9 Какие технологии изготовления ячеек на внутренней поверхности триеров вы знаете?

3 Оборудование для переработки сырья разделением

3.1 Практическое занятие № 1

Расчет параметров рабочих органов молотковых дробилок

Цель работы: изучить теоретические основы процесса измельчения твердых материалов; освоить методику расчета параметров рабочих органов молотковых дробилок.

3.1.1 Теоретические сведения

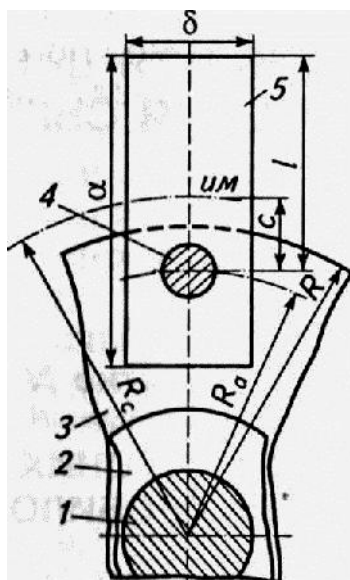
В пищевых производствах молотковые дробилки применяют в тех случаях, когда в одной ступени измельчения без последующего применения сортировочных устройств необходимо получить относительно мелко измельченный и однородный продукт. Дробилки наиболее эффективны при разрушении хрупких продуктов (зерно, кость, лед, соль, сахар) и менее эффективны при измельчении влажных продуктов, содержащих большое количество жира (шоколадная масса). В молотковых

дробилках продукт измельчается путем ударов по нему молотков, а также ударов частиц о кожух дробилки и в результате истирания их о штампованное сито, являющееся основной частью кожуха дробилки. В качестве сит в дробилках используют стальные листы толщиной от 1,5 до 2,5 мм с отверстиями круглой или продольной формы, длинная ось которых направлена по ходу вращения ротора дробилки.

Наибольшее распространение получили дробилки со свободно подвешенными молотками. Конструктивная схема рабочего органа такой дробилки-ротора представлена на рисунок 3.1.

На валу ротора собран пакет из колец и дисков, поджатых с одной стороны гайкой. В дисках проделаны отверстия. Молотки устанавливают между дисками. Ось проходит через отверстие диска и отверстия молотков, таким образом, осуществляется шарнирное закрепление молотков (подвешивание на оси).

Число молотков, располагаемых по окружности ротора с постоянным угловым шагом, может равняться четырем и более.



1 – вал; 2 – промежуточное кольцо; 3 – диск; 4 – ось; 5 – молоток

Рисунок 3.1 – Ротор дробилки с молотками

3.1.2 Методика расчета

К параметрам барабана дробилки, которые подлежат расчету, относятся: размеры барабана, показатели кинематического режима, размеры молотков и порядок их размещения, а также энергетические показатели.

Молотки должны вращаться с такой окружной скоростью, которая обеспечивает первичное разрушение продуктов в момент ударов. Эту минимально необходимую скорость (м/с) определяют исходя из закона изменения количества движения и принимая начальную скорость движения частицы перед соприкосновением ее с молотком, равной нулю:

$$v_{\min} = Pt/m, \quad (3.1)$$

где P – средняя мгновенная сила сопротивления разрушению частицы, Н;

t – продолжительность удара молотка по частице, с;

m – масса измельчаемой частицы, кг.

При конструировании молотковых дробилок с высокими окружными скоростями рабочих органов необходимо считаться с возможным возникновением инерционных сил из-за неуравновешенности ротора, значения которых могут достигать больших значений. Все молотки должны располагаться строго симметрично по окружности дисков.

Наиболее сильные удары происходят при встрече частиц с концами молотков, когда последние занимают наивысшие рабочие положения. Эти удары при неудачной конструкции молотков передаются на всю машину и быстро выводят ее из строя.

Расчет конструктивных размеров молотка

Учитывая условия равновесия молотка и закон изменения количества движения в момент удара, можно считать, что молоток обеспечит безударную работу при следующих конструктивных размерах (рисунок 3.1):

$$R^2 = lc, \quad (3.2)$$

где R – радиус инерции молотка относительно оси подвеса, м;

l – расстояние от оси отверстия молотка до его рабочего конца, м;

c – расстояние между центром тяжести массы молотка и осью его отверстия, м.

Для прямоугольного молотка с одним отверстием квадрат радиуса инерции относительно центра массы

$$R_c^2 = (a^2 + b^2) / 12, \quad (3.3)$$

где a и b – соответственно длина и ширина молотка, м.

Тогда радиус инерции молотка относительно оси подвеса

$$R^2 = R_c^2 + c^2. \quad (3.4)$$

Принимая, что точка приложения удара находится на конце молотка, можно записать

$$l = c + 0,5a. \quad (3.5)$$

Расстояние от оси подвеса до центра массы молотка (ц. м.) (рисунок 3.1)

$$c = (a^2 + b^2) / 6a. \quad (3.6)$$

Рабочие размеры молотка с двумя отверстиями при соблюдении условия уравнивания его на силу удара можно определить из зависимостей:

$$R^2 = 0,5ac;$$

$$c^2 + \left[\frac{a^2 b}{\rho d^2} - \frac{a}{2} \right] c - \frac{ab(a^2 + b^2)}{6\rho d^2} + \frac{d^2}{8} = 0,$$

где d – диаметр оси подвеса молотка, м.

Наличие второго отверстия в молотке позволяет путем перестановки использовать при работе еще две его рабочие грани. В этом случае, однако, надо учитывать, что даже износ одной рабочей грани молотка ведет к нарушению условия равновесия.

Для предотвращения нарушения устойчивой работы молотковых дробилок рекомендуется, чтобы расстояния от оси подвеса молотка, как до его внешней рабочей кромки, так и до оси ротора были равны или достаточно близки между собой.

Расчет конструктивных размеров вала ротора

Вал ротора, на котором крепятся диски с промежуточными кольцами, выполняют ступенчатым. Первая ступень – под шкив, вторая – под подшипник, третья – резьбовая, четвертая – под диски и кольца (втулки). Увеличение диаметра вала d_g от ступени к ступени можно ориентировочно оценить коэффициентом $1,2^n$:

$$d_g = 1,2^n d_0, \quad (3.7)$$

где d_0 – диаметр вала в опасном сечении, м;

n – число ступеней вала.

Если считать, что вал будет испытывать переменные нагрузки и малые изгибающие моменты, его диаметр можно определить по формуле

$$d_0 = 0,052 \sqrt{N/w}, \quad (3.8)$$

где N – передаваемая валом мощность, кВт;

w – угловая скорость вала, рад/с.

Прочностной расчет деталей ротора

При расчете дисков ротора, учитывая центробежные силы, как от массы дисков, так и от массы молотков, находят суммарное напряжение на образующей центрального отверстия:

$$S = S_{t_{\max}} + S_t. \quad (3.9)$$

где $S_{t_{\max}}$ – максимальное окружное напряжение в диске постоянного сечения на образующей центрального отверстия, Па;

S_t – окружное напряжение на образующей центрального отверстия, учитывающее массу молотков, Па.

Максимальное окружное напряжение в стальном диске, Па,

$$S_{t_{\max}} = \gamma w^2 (0,0825R^2 + 0,175r_0^2), \quad (3.10)$$

где γ – плотность материала диска, кг/м³;

R – наружный радиус диска, м;

r_0 – радиус центрального отверстия диска, м.

Окружное напряжение от сил инерции молотков в стальном диске на образующей центрального отверстия

$$S_t = P_u R_0 z / \left[p d (R_0^2 - r_0^2) \right], \quad (3.11)$$

где P_u – центробежная сила инерции молотка (без учета отверстия в нем), Н;

R_0 – радиус окружности расположения центров осей подвеса молотка, м;

z – число отверстий на диске под оси подвеса (число молотков);

d – толщина диска, м.

Центробежная сила инерции молотка

$$P_u = m_M w^2 R, \quad (3.12)$$

где m_M – масса молотка, кг;

R – радиус окружности расположения центров тяжести молотков, м.

Диаметр оси подвеса молотков определяют из условия его работы как двухопорной балки на изгиб, м:

$$d = 1,36 \sqrt[3]{P_u d_M / [S_u]}, \quad (3.13)$$

где d_M – толщина молотка, м;

$[S_u]$ – допускаемое напряжение при изгибе, Па.

Толщину молотка принимают равной от 2 до 10 мм.

Перемиčky (втулки) между отверстиями под оси подвеса и наружной кромкой диска проверяют на сопротивление смятию и срезу по формулам:

$$[s_{cm}] \geq P_u / d \cdot d ,$$

$$[s_{cp}] \geq 0,5 P_u / d h_{\min} .$$

где $[s_{cm}]$ – допускаемое напряжение на смятие, Па;

$[s_{cp}]$ – допускаемое напряжение при срезе, Па;

$h_{\min}$ – размер перемиčky (толщина стенки), м.

Вал, диски и оси под молотки изготовляют из обычных конструкционных сталей, а молотки – из легированной термически обработанной вязкой износостойчивой стали, например марки 30ХГСА. Термообработка этой стали заключается в ее нагреве до 880 °С с охлаждением в масле и отпуске при 225 °С. После такой термообработки твердость молотков составляет от 39 до 47,5 HRC.

Допускаемые напряжения при смятии и срезе для дисков, изготовленных из углеродистых сталей с временным сопротивлением разрыву от 490 до 590 МПа, при спокойном режиме можно принимать до 150 МПа. Обычно

$$[s_{cm}] = 59 - 88 \text{ МПа};$$

$$[s_{cp}] = (0,2 - 0,3) s_T \text{ или } [s_{cp}] = 0,8 [s] ,$$

где s_T – предел текучести, Па;

$[s_{cp}]$ – допускаемое напряжение материала при растяжении, Па.

Расчет технологических режимов

Производительность молотковой дробилки Q , кг/с,

$$Q = K_1 r_n D^2 L w , \quad (3.14)$$

где K_1 – эмпирический коэффициент, зависящий от типа и размеров ячеек ситовой поверхности, физико-механических свойств сырья (вид, прочность, крупность); $K_1 = (1,3 - 1,7) \cdot 10^{-4}$ для сит с размером отверстий до 3 мм; $K_1 = (2,2 - 5,2) \cdot 10^{-4}$ для чешуйчатых сит с размером отверстий от 3 до 10 мм (меньшие размеры K_1 принимают для сит с меньшими размерами отверстий);

ρ_n – плотность измельчаемого продукта, кг/м³;

L – длина ротора дробилки, м; $L = (0,32 - 0,64) D$.

Мощность электродвигателя молотковой дробилки N , кВт,

$$N = K_1 K_2 \rho_n D^2 L w, \quad (3.15)$$

где K_2 – эмпирический коэффициент, учитывающий степень измельчения продукта ($K_2 = 6,4 - 10,5$), меньшее значение K_2 принимают при грубом измельчении, а большее – при тонком.

Рассмотрим порядок расчета параметров молотковых дробилок на конкретном примере.

Порядок расчета молотковой дробилки

Основные параметры рабочих органов молотковой дробилки и схема поперечного сечения ротора определяются, если известны следующие данные: масса измельчаемой частицы $m = 3 \cdot 10^{-5}$ кг, продолжительность удара молотка по частице продукта $t = 10^{-5}$ с, сила сопротивления частицы разрушению $P = 120$ Н. Производительность дробилки $Q = 0,41$ кг/с.

При начальной скорости движения частицы продукта равной нулю, найдем минимально необходимую окружную скорость молотка из (3.1)

$$v_{\min} = 120 \cdot 10^{-5} / (3 \cdot 10^{-5}) = 40 \text{ м/с.}$$

Связь между размерами барабана и заданной производительностью выражается при помощи показателя удельной нагрузки:

$$q = Q / (DL),$$

где q – секундная производительность, кг/с;

D – диаметр барабана, м;

L – длина барабана, м.

В существующих кормодробилках удельная нагрузка $q = 2 - 3 \text{ кг/(с·м}^2\text{)}$ при скоростях молотков $v = 45 - 55 \text{ м/с}$ или $q = 3 - 6 \text{ кг/(с·м}^2\text{)}$ при $v = 70 - 80 \text{ м/с}$ и средней крупности помола (решето с отверстиями диаметром 7 мм).

Длина барабана $L = D/K$, где $K = 1 - 2$ (для дробилок типа КДУ-2). Учитывая это равенство, найдем диаметр барабана

$$D = \sqrt{KQ/q} \text{ или } D = A\sqrt{Q},$$

где A – коэффициент ($A = 0,7 - 0,9$).

$$D = 0,7\sqrt{0,41} = 0,45 \text{ м} = 450 \text{ мм};$$

$$L = 450 \text{ мм.}$$

Чтобы обеспечить устойчивость молотка, рекомендуется подбирать размеры молотка, радиусы оси подвеса молотка и диска, барабана по условию:

$$R_0 = 2,25l.$$

Поскольку $R_0 = (D/2 - l)$ (рисунок 3.1), то

$$l = \frac{4}{9}R_0 = \frac{4}{9}\left[\frac{D}{2} - l\right],$$

$$l = 0,154D = 0,154 \cdot 0,45 = 0,0693 \text{ м} = 69,3 \text{ мм};$$

$$R_0 = 0,346D = 0,346 \cdot 0,45 = 0,1557 \text{ м} = 155,7 \text{ мм.}$$

Длину a и ширину b молотка ориентировочно принимаем по отношениям:

$$a = 1,5l = 0,23D; \quad b = (0,4 - 0,5)a.$$

Из этих зависимостей найдем длину и ширину молотка:

$$a = 0,23 \cdot 0,45 = 0,103 \text{ м} = 103 \text{ мм.}$$

Примем длину молотка $a = 100$ мм. Тогда ширина молотка

$$b = 0,4 \cdot 0,1 = 0,04 \text{ м} = 40 \text{ мм.}$$

Толщину молотка d_m примем равной 10 мм, пусть молотки будут с одним отверстием. При этом расстояние от центра масс (тяжести) молотка до оси отверстия по формуле (3.6):

$$c = \frac{(0,1^2 + 0,04^2)}{6 \cdot 0,1} = 0,0193 \text{ м} = 19,3 \text{ мм.}$$

Квадрат радиуса инерции молотка относительно его центра массы находим по формуле (3.3):

$$r_c^2 = (0 + 0,04^2) / 12 = 0,000965 \text{ м}^2 = 9,65 \text{ см}^2.$$

Квадрат радиуса инерции молотка относительно оси его подвеса определим по формуле (3.4):

$$r^2 = 0,000965 + 0,0193^2 = 0,001337 \text{ м}^2 = 13,37 \text{ см}^2.$$

Радиус инерции $r = 3,66$ см = 36,6 мм.

В соответствии с принятыми размерами молотка расстояние от конца молотка до оси его подвеса определим по зависимости (3.5):

$$l = 19,3 + 0,5 \cdot 100 = 69,3 \text{ мм.}$$

Расстояние от конца молотка до оси его подвеса $l = 69,3$ мм, что соответствует ранее принятому значению.

Проверим найденное значение r по формуле (3.2):

$$r^2 = 0,0693 \cdot 0,0193 = 0,001337 \text{ м}^2 = 13,37 \text{ см}^2.$$

Выполненная проверка подтверждает правильность сделанных вычислений.

Радиус наиболее удаленной от оси ротора точки молотка будет равен половине диаметра барабана $D/2$ или $R_0 + l$. Тогда необходимую угловую скорость наиболее удаленной точки молотка определим по формуле

$$\omega = v_{\min} / (R_0 + l) = 2v_{\min} / D;$$

$$\omega = 40 / 0,1557 + 0,0693 = 177,7 \text{ рад/с},$$

примем ее с некоторым запасом равной 190 рад/с.

Масса молотка, изготовленного из стали плотностью 7850 кг/м^3 ,

$$m_M = abdr ;$$

$$m_M = 0,1 \cdot 0,01 \cdot 0,01 \cdot 7850 = 0,314 \text{ кг} = 314 \text{ г}.$$

Радиус окружности расположения центров массы молотков

$$R_c = R_0 + c ,$$

$$R_c = 0,1557 + 0,0193 = 0,175 \text{ м} = 175 \text{ мм}.$$

Центробежную силу инерции молотка определим по формуле (3.12):

$$P_u = 0,314 \cdot 190^2 \cdot 0,175 = 1983,7 \text{ Н}.$$

Диаметр оси подвеса молотка, принимая допускаемое напряжение на изгиб равным 100 МПа, найдем по формуле (3.13):

$$d = 1,36 \sqrt[3]{1983,7 \cdot 0,01 / (100 \cdot 10^6)} = 0,00793 \text{ м} = 7,93 \text{ мм}.$$

Из ряда нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636-69 (СТ СЭВ 314-77) принимаем $d = 10 \text{ мм}$. Для диска из стали Ст5 допускаемые напряжения на смятие $[s_{cm}] = 65 \text{ МПа}$ и на срез с учетом предела текучести

$$[s_{cp}] = (0,2 \dots 0,3) s_T = 0,22 \cdot 275 = 60,5 \text{ МПа}.$$

Толщина диска

$$d = P_u / d [s_{cm}] = 1983,7 / (0,01 \cdot 65 \cdot 10^6) = 0,003 \text{ м} = 3 \text{ мм}.$$

Примем толщину диска равной 5 мм. Минимальный размер перемычки втулки

$$h_{\min} \geq 0,5P_u/d \left[s_{cp} \right] = 0,5 \cdot 1983,7 / 0,005 \cdot 60,5 \cdot 10^6 = 0,00327 \text{ м} = 3,27 \text{ мм}.$$

Минимальный размер перемычки между отверстиями под оси вала и наружной кромкой диска принимаем равным 4 мм.

Наружный радиус диска

$$R = R_0 + 0,5d + h_{\min} = 0,1557 + 0,5 \cdot 0,01 + 0,004 = 0,1647 \text{ м} = 164,7 \text{ мм}.$$

Примем его равным 165 мм, тогда размер перемычки окажется равным 4,3 мм, что допустимо ($h > h_{\min}$).

Диаметр вала в опасном сечении у шкива определим по формуле (3.8):

$$d_0 = 0,052 \sqrt{10/190} = 0,01193 \text{ м} = 11,9 \text{ мм}.$$

Учитывая ослабление вала шпоночным пазом, принимаем диаметр вала $d = 16$ мм, и учитывая далее четыре ступени увеличения диаметра вала, по условию (3.7):

$$d_e = 16 \cdot 1,2^4 = 33,2 \text{ мм}.$$

Окончательно принимаем $d_e = 40$ мм.

Для проверки расчетов чертим схему (в масштабе) установки молотка на диске в порядке, указанном на рисунке 3.2, цифрами в скобках.

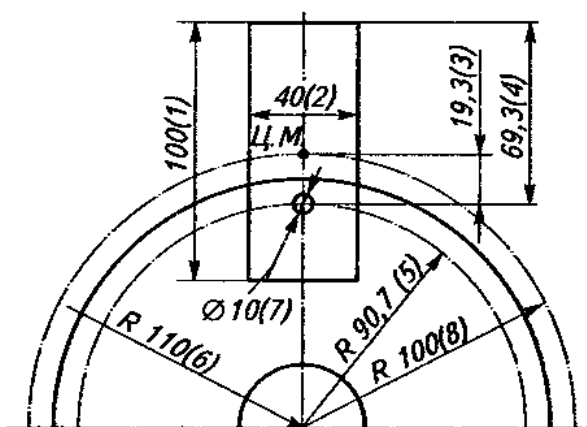


Рисунок 3.2 – Схема установки молотка на диске

Убедившись в согласованности полученных размеров, приступаем к определению напряжений в опасном месте диска на поверхности центрального отверстия по выражению (3.10):

$$s_{r_{\max}} = 7850 \cdot 190^2 \left(0,0825 \cdot 0,165^2 + 0,175 \cdot 0,02^2 \right) = 6,56 \cdot 10^5 \text{ Па} = 0,656 \text{ МПа}.$$

Окружное напряжение от сил инерции молотков также на образующей центрального отверстия по зависимости (3.11):

$$s_t = 1983,7 \cdot 0,1557 \cdot 4 / \left[3,14 \cdot 0,005 \cdot \left(0,1557^2 - 0,02^2 \right) \right] = 3300689,2 \text{ Па} = 3,43 \text{ МПа}.$$

Суммарное напряжение на образующей определим по формуле (3.9):

$$s = 6,56 \cdot 10^5 + 33,0 \cdot 10^5 = 3,956 \cdot 10^6 \text{ Па} = 4 \text{ МПа}.$$

Закключаем, что оно находится в допустимых пределах. В результате выполненных расчетов получены следующие параметры молотковой дробилки:

Диаметр барабана $D = 0,45 \text{ м} = 450 \text{ мм}$.

Длина барабана $L = 0,45 \text{ м} = 450 \text{ мм}$.

Длина молотка $a = 100 \text{ мм}$.

Ширина молотка $b = 40 \text{ мм}$.

Толщина молотка $S = 10 \text{ мм}$.

Радиус окружности расположения центров осей подвеса молотка $R_0 = 0,1557 \text{ м} = 155,7 \text{ мм}$.

Расстояние от оси подвеса до центра массы молотка $c = 0,0193 \text{ м} = 19,3 \text{ мм}$.

Квадрат радиуса инерции молотка:

относительно его центра массы $r_c^2 = 9,65 \text{ см}^2$;

относительно оси его подвеса $r^2 = 13,37 \text{ см}^2$;

Расстояние от конца молотка до оси его подвеса $l = 69,3 \text{ мм}$.

Угловая скорость молотка $\omega = 190 \text{ рад/с}$.

Масса молотка $m_m = 314 \text{ г}$;

Радиус окружности расположения центров масс молотков: $R_c = 175 \text{ мм}$.

Диаметр оси подвеса молотка $d = 10$ мм.

Толщина диска $d = 5$ мм.

Минимальный размер перемычки $h_{\min} = 4,3$ мм.

Наружный радиус диска $R = 165$ мм.

Диаметр вала под диски и кольца $D_g = 40$ мм.

Схема установки молотка на диске приведена на рисунке 3.2.

В заключение по формуле (3.14) проверяем фактическую производительность дробилки и по формуле (3.15) находим мощность сил полезного сопротивления движению ротора.

Задание. Определить основные параметры рабочих органов молотковой дробилки и начертить схему поперечного сечения ротора, если известны: масса измельчаемой частицы m , кг; продолжительность удара молотка по частице продукта $t = 10^{-5}$, с; сила сопротивления частицы разрушению $P = 120$ Н; передаваемая мощность N , кВт; производительность дробилки Q_d , кг/с.

Принять, что молоток изготовлен из стали 30ХГСА плотностью $\rho = 7885$ кг/м³. Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Варианты индивидуальных заданий

Вариант	N , кВт	q_p , кг/(с·м ²)	$K = D/L$	m , кг	P , Н
1	5,0	0,20	1,00	$2,00 \cdot 10^{-5}$	110
2	5,2	0,21	1,05	$2,05 \cdot 10^{-5}$	111
3	5,4	0,22	1,10	$2,10 \cdot 10^{-5}$	112
4	5,6	0,23	1,15	$2,15 \cdot 10^{-5}$	113
5	5,8	0,24	1,20	$2,20 \cdot 10^{-5}$	114
6	6,0	0,25	1,25	$2,25 \cdot 10^{-5}$	115
7	6,2	0,26	1,30	$2,30 \cdot 10^{-5}$	116
8	6,4	0,27	1,35	$2,35 \cdot 10^{-5}$	117
9	6,6	0,28	1,40	$2,40 \cdot 10^{-5}$	118
10	6,8	0,29	1,45	$2,45 \cdot 10^{-5}$	119
11	7,0	0,30	1,50	$2,50 \cdot 10^{-5}$	120
12	7,2	0,31	1,55	$2,55 \cdot 10^{-5}$	121
13	7,4	0,32	1,60	$2,60 \cdot 10^{-5}$	122
14	7,6	0,33	1,65	$2,65 \cdot 10^{-5}$	123
15	7,8	0,34	1,70	$2,70 \cdot 10^{-5}$	124

Контрольные вопросы. 1. Какова область применения молотковых дробилок? 2. Какие параметры необходимо определять при расчете рабочих органов молотковых дробилок? 3. Как определить окружную скорость молотков дробилки, при которой происходит разрушение продукта?

3.2 Практическое занятие № 2

Расчет гомогенизатора

Цель работы: изучение теоретических основ процесса гомогенизации, знакомство с классификацией гомогенизаторов, изучение устройства и принципа действия плунжерного гомогенизатора и приобретение практических навыков по расчету плунжерных гомогенизаторов.

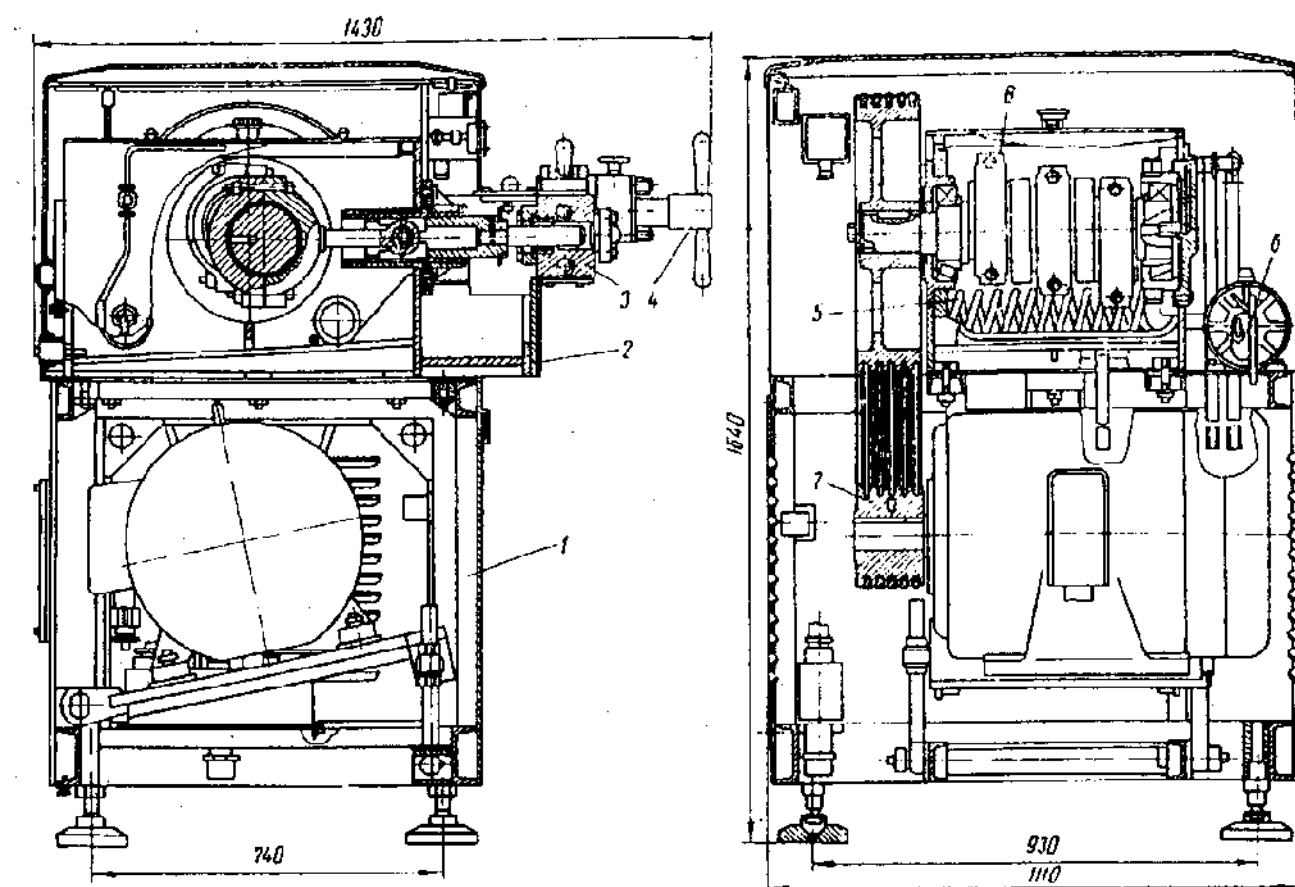
3.2.1 Теоретические сведения

Гомогенизацией называется процесс измельчения жидких и пюреобразных пищевых продуктов за счет пропускания под большим давлением с высокой скоростью через узкие кольцевые щели. В результате воздействия на продукт различных гидродинамических факторов происходит дробление твердых частиц продуктов и их интенсивная механическая обработка. Гомогенизация не только изменяет дисперсность белковых компонентов продукта, но и влияет на физико-химические свойства продукта (плотность, вязкость).

Гомогенизаторы подразделяются на клапанные, дисковые или центробежные и ультразвуковые. Основным фактором, определяющим конструкцию гомогенизаторов, является количество плунжеров. По этому признаку выпускаемые гомогенизаторы можно разделить на одно-, трех- и пятиплунжерные.

Наибольшее распространение получили клапанные гомогенизаторы, основными узлами которых являются насос высокого давления и гомогенизирующая головка.

Гомогенизатор (рисунок. 3.3) включает в себя станину, корпус, привод, кривошипно-шатунный механизм, плунжерный блок, двухступенчатую гомогенизирующую головку, манометрическое устройство, предохранительный клапан системы смазки и охлаждения.



1 – станина; 2 – корпус; 3 – плунжерный блок; 4 – гомогенизирующая головка; 5 – система охлаждения; 6 – система смазки; 7 – привод; 8 – кривошипно-шатунный механизм

Рисунок 3.3 – Гомогенизатор

Внутри станины установлен электродвигатель на плите, которая меняет свое положение за счет поворота относительно оси, закрепленной с одной сто-

роны плиты. Станина имеет четыре регулируемые ножки с подкладками. Сверху на ней укреплен корпус, в котором помещаются кривошипно-шатунный механизм, система охлаждения, фильтр системы смазки. Корпус выполнен в виде резервуара с наклонным дном для стекания масла. Уровень масла в нем должен находиться на такой высоте, чтобы кривошипно-шатунный механизм своей большой головкой мог доставать его при вращении коленчатого вала и разбрызгивать в направлении ползунной группы.

Кривошипно-шатунный механизм преобразует вращательное движение, в возвратно-поступательное движение плунжеров. На его коленчатом валу установлены ведомый шкив и шатуны. Вал вращается в конических подшипниках, наружные кольца которых поджаты крышками.

Система охлаждения состоит из патрубков для подвода и отвода воды, трубчатого змеевика, на дне корпуса, и трубки с отверстиями, установленной над плунжерами. Воду подводят через входные патрубки и подают к плунжерам. Часть воды в змеевике, охлаждает масло и отводится из гомогенизатора.

Производительность гомогенизатора регулируется частотой вращения электродвигателя и коленчатого вала с разным эксцентриситетом кривошипа.

Основными рабочими органами гомогенизирующей головки являются седло и клапан, от конструкции которых зависит степень дисперсности частиц при гомогенизации. Клапанная щель может быть гладкой и волнообразной с постоянным или переменным сечением. Для преодоления сопротивления при прохождении через узкую щель продукт подается под большим давлением (до 20 МПа). Сила, прилагаемая при подаче продукта, поднимает клапан, и между ним и седлом образуется узкий канал, через который протекает жидкость. Клапан остается над седлом в плавающем состоянии, и вследствие изменения гидродинамических условий высота канала постоянно меняется.

Сила, с которой клапан прижимается к седлу, создается часто пружиной, в некоторых конструкциях – маслом под давлением, и может регулироваться. Она определяется давлением, с которым осуществляется подача продукта.

Тонкость измельчения зависит от давления, конструкции гомогенизирующей головки, равномерности подачи, состояния и предварительной обработки продукта. По типу гомогенизирующей головки гомогенизаторы можно подразделить на одно-, двух- и многоступенчатые. Гомогенизирующая головка является узлом гомогенизатора, где непосредственно происходит диспергирование обрабатываемой среды.

Двухступенчатая головка (рисунок 3.4) состоит из корпуса 3 и клапанного устройства, основными частями которого являются седло клапана 1 и клапан 2. Клапан связан со штоком, на выступ которого давит пружина 6. Сила сжатия пружины регулируется путем перемещения накидной гайки 5 со штурвалом, которая вместе с пружиной, штоком 7 и стаканом 8 образуют нажимное устройство 4. Жидкость, нагнетаемая насосом под тарелку клапана, давит на тарелку и отодвигает клапан от седла, преодолевая сопротивление пружины. В образующуюся между клапаном и седлом щель высотой от 0,05 до 2,50 мм проходит с большой скоростью жидкость, гомогенизируясь при этом.

3.2.2 Методика расчета

Производительность плунжерного гомогенизатора G , м³/с,

$$G = 0,25D^2Swzh_n,$$

где D и S – диаметр и ход плунжера, м;

W – угловая скорость вращения коленчатого вала, рад/с;

z – число плунжеров, шт.;

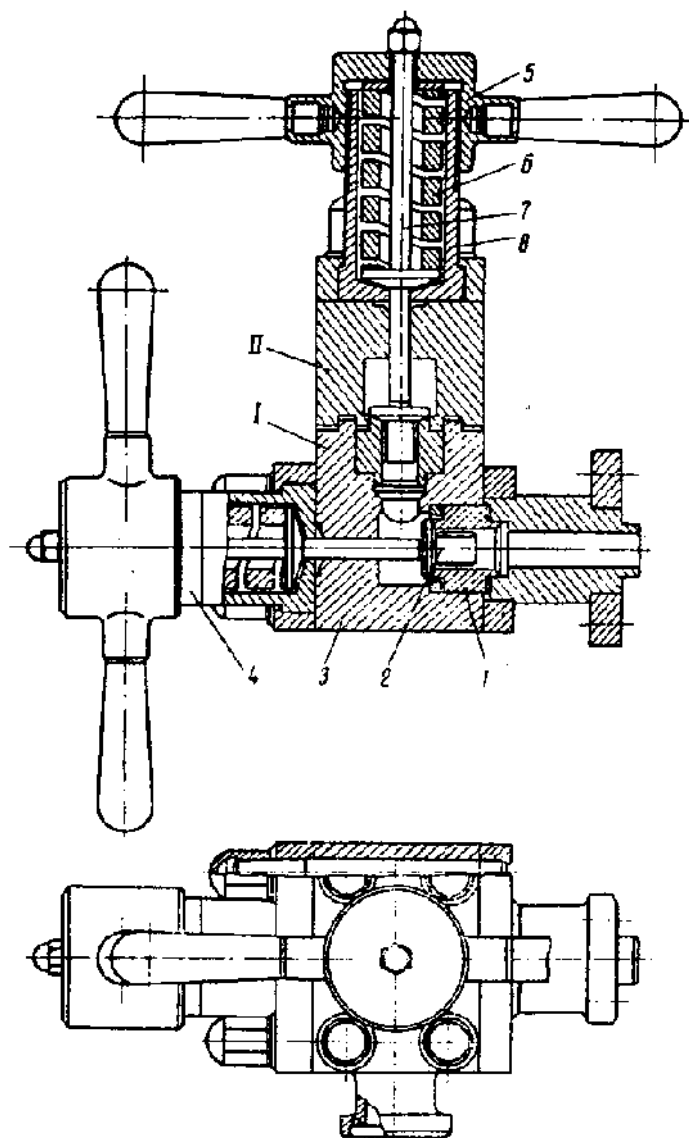
h_n – КПД насоса ($h_n = 0,80 - 0,90$).

Мощность электродвигателя гомогенизатора N , кВт,

$$N = \frac{Gp}{3600h},$$

где p – давление гомогенизации, Па;

η – КПД гомогенизатора ($\eta = 0,75 - 0,85$).



I – первая ступень; II – вторая ступень; 1 – седло клапана; 2 – клапан; 3 – корпус;
4 – нажимное устройство; 5 – накидная гайка; 6 – пружина; 7 – шток; 8 – стакан

Рисунок 3.4 – Гомогенизирующая головка

Толщина тарелки клапана $h_{кл}$, м,

$$h_{кл} = 0,43d_{кл}\sqrt{p/[s]},$$

где p – давление гомогенизации, Па;

$[s] = 2,4 \cdot 10^8$ Па – допускаемое напряжение для материала клапана;

$d_{кл}$ – диаметр клапана, м,

$$d_{кл} = \sqrt{1,27 \left(\Delta F + G / (6v_{\partial} z) \right)};$$

где G – производительность гомогенизатора, м³/с;

v_{∂} – допускаемая скорость жидкости в седле, м/с (для всасывающего клапана 2 м/с, а для нагнетательного от 5 до 8 м/с);

ΔF – площадь сечения хвостовика, м²,

$$\Delta F = \rho r_k^2,$$

здесь r_k – радиус хвостовика, м, $r_k = (4 - 5) \cdot 10^{-3}$ м.

Пружину нагнетательного клапана рассчитывают, исходя из необходимого усилия P_{np} при закрытом клапане

$$P_{np} = \frac{GWM(1 + l)}{14d_{кл}^2 z},$$

где G – производительность гомогенизатора, м³/с;

W – угловая скорость вращения коленчатого вала, рад/с;

M – масса клапана, кг ($M = 0,4$ кг);

l – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна ($l = 0,15 - 0,20$);

$d_{кл}$ – диаметр клапана, м;

z – число плунжеров, шт.

Сила сжатия пружины при рабочей деформации P_{∂} , Н,

$$P_{\partial} = 1,5P_{np}.$$

Жесткость пружины $Ж$, Н/м,

$$Ж = (P_{\partial} - P_{np}) / h,$$

где h – высота пружины, м ($h = 0,10 - 0,14$ м).

При гомогенизации часть механической энергии превращается в теплоту, вследствие чего происходит повышение температуры гомогенизируемого продукта Δt , К,

$$\Delta t = \frac{p}{c \cdot \rho},$$

где p – давление гомогенизации, Па;

$c = 3880$ Дж/(кг·К) – удельная теплоемкость молока;

$\rho = 1033$ кг/м³ – плотность молока, кг/м³.

Средний диаметр жировых шариков, м, в диапазоне изменения давления от 2,0 до 20,0 МПа определяется по формуле Н.В. Барановского

$$d = 3,8 \cdot 10^6 / \sqrt{p},$$

где p – давление гомогенизации, МПа.

Расчет предохранительных клапанов можно свести к определению проходного сечения седла клапана с учетом вязкости обрабатываемой жидкости. Для маловязких жидкостей (молоко, соки) диаметр, м, проходного сечения седла определяется по формуле

$$D_c = \frac{\sqrt{G}}{\sqrt[4]{(p - p_{\text{в}}) / d_{\text{в}}}},$$

где $p_{\text{в}}$ – давление всасывания, МПа ($p_{\text{в}} = 0,2 \cdot 10^6$ МПа);

$d_{\text{в}}$ – отношение массы перекачиваемой жидкости к массе воды (для молока

$d_{\text{в}} = 1,03$).

Задание: выполнить расчет гомогенизатора, если заданы: D – диаметр плунжера, м; S – ход плунжера, м; W – угловая скорость вращения коленчатого вала, рад/с; z – число плунжеров, шт.; p – давление гомогенизации, Па.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	D , мм	S , мм	w , рад/с	z , шт.	p , МПа	Гомогенизатор
1	25	10	36,1	5	25,5	К5-ОГА-10
2	35	60	38,1	3	20,3	
3	20	10	36,2	5	25,6	
4	30	60	38,2	3	19,8	
5	22	10	36,3	5	25,7	
6	32	60	38,3	3	19,9	А1-ОГМ
7	24	10	36,4	5	25,1	
8	34	60	38,4	3	20,1	
9	21	10	36,5	5	25,4	
10	31	60	38,5	3	20,3	
11	23	10	36,6	5	25,9	К5-ОГА-10
12	33	60	38,6	3	20,4	
13	25	10	36,7	5	25,8	
14	35	60	38,7	3	20,5	
15	20	10	36,8	5	26,3	А1-ОГМ
16	30	60	38,8	3	20,7	
17	22	10	36,9	5	24,9	
18	32	60	38,9	3	20,9	
19	25	10	36,1	5	26,0	«Кевац»
20	35	60	38,1	3	20,4	
21	20	10	36,2	5	26,7	
22	30	60	38,2	3	20,9	
23	22	10	36,3	5	22,6	
24	32	60	38,3	3	21,7	
25	20	10	36,4	5	26,3	

Контрольные вопросы: 1 Что называется гомогенизацией? 2 Назовите классификацию гомогенизаторов. 3 Какие виды гомогенизирующих головок используются в гомогенизаторах? 4 Как устроен и работает гомогенизатор? 5 Какие типы гомогенизаторов используются в промышленности? 6 От каких факторов зависит степень гомогенизации? 7 Как регулируется производительность гомогенизатора?

3.3 Практическое занятие № 3

Расчет протирачной машины

Цель работы: изучение теоретических основ процесса разделения методом протираания, знакомство с классификацией протирачных машин, их устройством и принципом действия, приобретение практических навыков по расчету протирачных машин.

3.3.1 Теоретические сведения

Протирачные машины используют в производстве пюреобразных продуктов, соков, концентрированных томатопродуктов и других растительных полуфабрикатов.

Они служат для разделения растительного сырья на две фракции: жидкую с мякотью, из которой изготавливаются консервированные продукты, и твердую – отходы (кожица, семена, косточки, плодоножки).

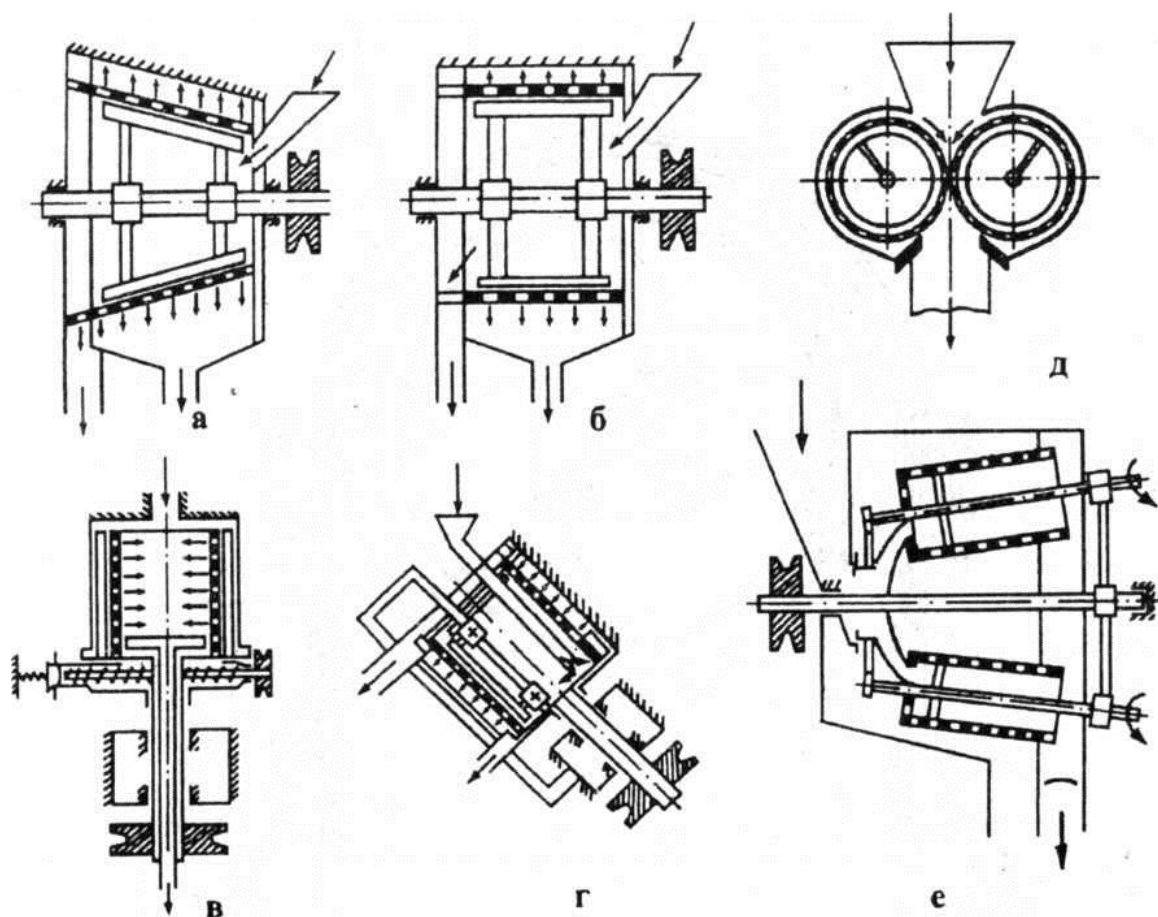
Протирание – это процесс отделения массы плодовоовощного сырья от косточек, семян, кожуры путем продавливания на ситах через отверстия с диаметром от 0,7 до 5,0 мм.

Финиширование – это дополнительное, тонкое измельчение протертой массы пропусканием через сито с диаметром отверстий менее 0,4 мм.

В процессе протираания или финиширования перерабатываемая масса попадает на поверхность движущегося бича. Под действием центробежной силы она прижимается к рабочему сити.

Полуфабрикат через отверстия проходит в сборник, а отходы под действием силы, обусловленной углом опережения бичей, продвигается к выходу рабочего сита.

Протирочные машины классифицируются по: числу барабанов – одинарные, сдвоенные и строенные; принципу действия – бичевые и безбичевые; форме барабанов – с цилиндрическим или коническим барабаном; назначению – для семечковых плодов, для косточковых плодов и универсальные; способу регулирования производительности – с изменяющимся углом опережения бичей, изменяющимся зазором между бичами и барабаном, изменяющейся частотой вращения ротора (рисунок 3.5).



а – с коническим ситчатым барабаном; б – с цилиндрическим ситчатым барабаном; в – с вращающимся вертикальным ситчатым барабаном при наружной подаче сырья; г – с наклонным вращающимся ситчатым барабаном и внутренней подачей сырья; д – двухбарабанная безбичевая протирочная машина; е – трехбарабанная безбичевая протирочная машина

Рисунок 3.5 – Основные конструктивные схемы протирочных машин

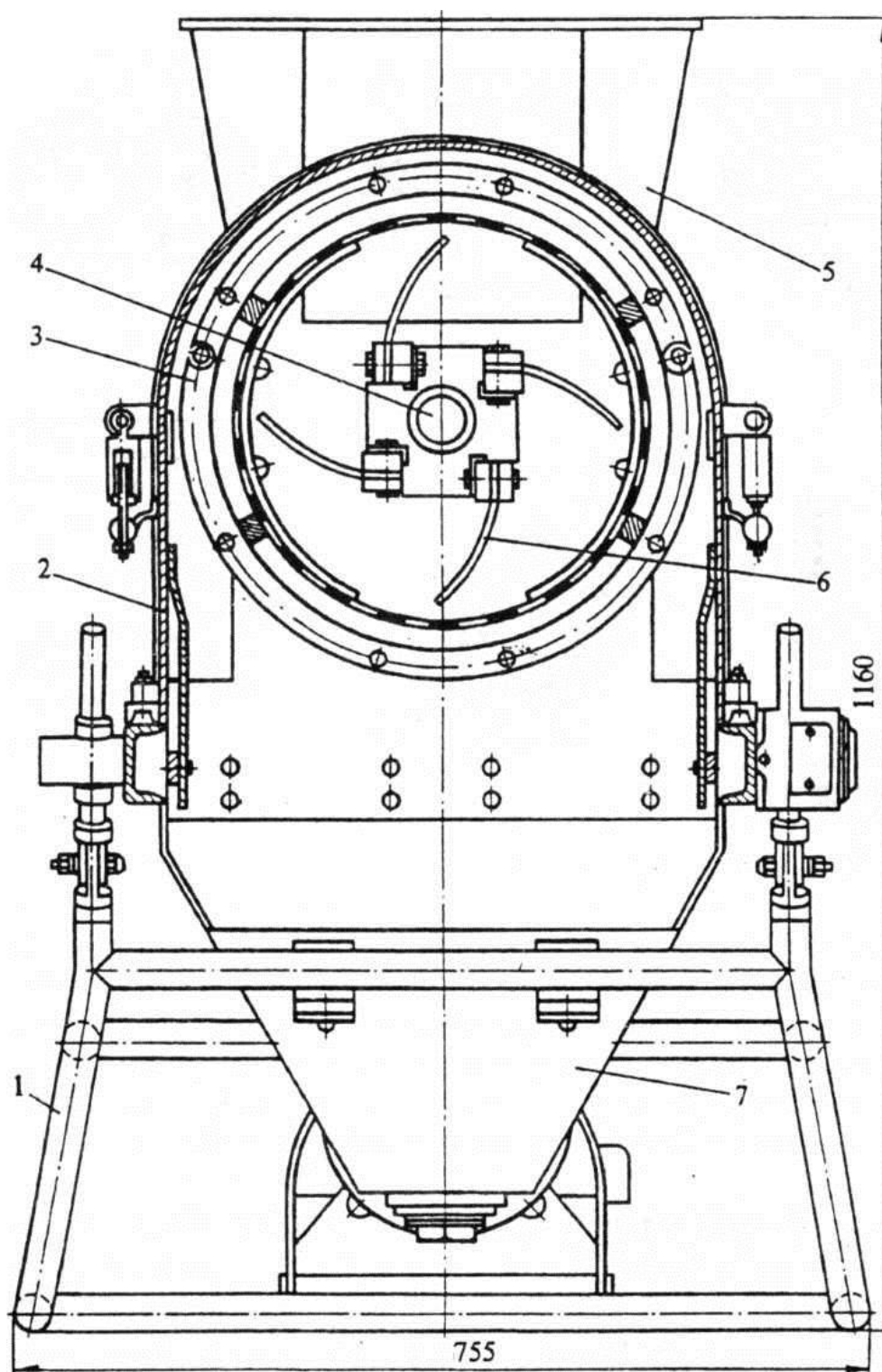
Основными рабочими органами протилочных машин являются ситчатый барабан, бичевое устройство, устройства загрузки сырья на бичи и удаления отходов из барабана.

Протилочная машина (рисунок 3.6), предназначенная для отделения косточек плодов (яблок, слив) от мякоти, состоит из корпуса 2, станины 1, петельного вала 4, загрузочного бункера 5, сборника 7 и привода. Внутри корпуса машины на двух подшипниках скольжения вращается петельный вал с четырьмя рядами петель 6 и установлена сетка 3 с отверстиями диаметром 5 мм, укрепленная для жесткости в каркасе. Вал приводится во вращение от электродвигателя через редуктор.

Плоды поступают в машину через загрузочный бункер. Попадая в полость, сита, плоды разбиваются петельным валом и отбрасываются на сетку.

Жидкая фаза плодов и мякоть проходит сквозь сито в полость между ситом и корпусом, откуда стекают в сборник. Косточки продвигаются к выходному лотку и по нему сходят в тару.

Протилочные машины должны обеспечивать качественное разделение протираемой массы на полуфабрикат и отходы, высокую удельную производительность, минимальное количество отходов, низкий удельный расход энергии, однородный и достаточно тонкий дисперсный состав протертого полуфабриката, максимальную степень измельчения. К недостаткам протилочных машин следует отнести невысокую эксплуатационную надежность, обусловленную неравномерным износом и быстрым выходом из строя сеток; неравномерные нагрузки на ротор вследствие неодинакового зазора между бичом и сеткой цилиндра; низкую удельную протилочную способность. Перспективными конструкциями протилочных машин являются машины с вращающимся ситчатым барабаном и неподвижными бичами.



1 – станина; 2 – корпус; 3 – сетка; 4 – петельный вал; 5 – загрузочный бункер;
6 – петли; 7 – сборник в полость

Рисунок 3.6 – Протирочная машина

3.3.2 Методика расчета

Диаметр трубопровода подвода обрабатываемой массы в машину d_3 , м,

$$d_3 = \sqrt{4Q / (\rho v_{np})},$$

где Q – производительность машины, кг/с;

ρ – плотность перерабатываемой массы, кг/м³ (таблица 2.5);

v_{np} – скорость массы в загрузочной трубе машины, м/с (рекомендуется

$v_{np} = 0,5 - 1,0$ м/с).

Угловая скорость вращения бичевого вала ω , рад/с,

$$\omega = \sqrt{g (Fr/R)},$$

где g – ускорение свободного падения;

Fr – фактор разделения ($Fr = 200 - 300$);

R – радиус бичей, м.

Таблица 3.3 – Параметры перерабатываемого сырья

Продукт	Плотность перерабатываемой массы ρ , кг/м ³	Массовая доля мякоти в продукте Θ , %	Энергия, затрачиваемая на образование 1 м ² поверхности, W , Дж/м ²
Яблоки	1070	25 – 40	15,0 – 18,5
Томаты	1090	20 – 30	8,0 – 12,0
Морковь	1130	27 – 46	19,8 – 22,4
Груши	1060	27 – 45	19,0 – 21,8
Сливы	1040	18 – 28	12,0 – 15,0
Виноград	1030	17 – 26	9,0 – 12,0

Живое сечение ситчатого барабана при круглых отверстиях в каркасе

$$j_{\sigma} = d_{отв}^2 / a_{отв}^2,$$

где $d_{отв}$ – диаметр отверстий каркаса, м, $d_{отв} = (8 - 12) \cdot 10^{-3}$ м;

$a_{отв}$ – шаг отверстий каркаса, м.

Живое сечение сит j_c ориентировочно определяется в зависимости от диаметра отверстий в сите:

Таблица 3.4 - Живое сечение ситчатого барабана

Наименование значения	Значение			
диаметр отверстий в сите, мм	0,4	0,8	1,2	2,8
живое сечение сит, j_c	0,134	0,165	0,196	0,305

Безразмерная производительность q ,

$$q = 0,9050Q / (j_{\sigma} j_c r R^2 \sqrt{Rg}).$$

Длина зоны активного отделения жидкости при протирании томатов, м,

$$l_1 = 30,4 R q^{0,29} Fr^{-0,53} z^{0,31},$$

где z – число бичей, шт.

При протирании яблочной или другой перерабатываемой массы длину зоны активного отделения жидкой фазы увеличивают на 30 %.

Длина зоны центробежного отжима l_2 , м,

$$l_2 = 0,11R.$$

Длина ситчатого барабана l , м,

$$l = l_1 + l_2.$$

Продолжительность пребывания продукта в протирочной машине t , с,

$$t = L/v_l,$$

где L – длина бича, м (в расчете принимается $L = l$);

v_l – скорость перемещения продукта вдоль бича, м/с,

$$v_l = 2Rwtga;$$

где R – радиус бичей, м;

w – угловая скорость бичевого вала, рад/с;

a – угол опережения бича, град, ($a = 1,5 - 6,0^\circ$).

Мощность привода протирочной машины, Вт, складывается из следующих величин:

- мощности, затрачиваемой на сообщение продукту скорости,

$$N_1 = 0,5Qw^2R^2;$$

- мощности, затрачиваемой на трение массы по сити,

$$N_2 = zmW^3R^2f,$$

где f – коэффициент трения массы по сити ($f = 0,2 - 0,9$);

m – масса сырья вращающегося совместно с бичом, кг,

$$m = grlR^2;$$

где g – эмпирический коэффициент ($g = 0,05$);

l – длина барабана, м;

- мощности, затрачиваемой на измельчение сырья,

$$N_3 = QWF_1,$$

где W – энергия, затрачиваемая на образование 1 м² новой поверхности, Дж/м²,
(таблица 3.3);

F_1 – площадь вновь образованной поверхности при переработке 1 кг сырья,
м³/кг,

$$F_1 = \frac{2}{r} \left(\frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right) \Theta \cdot 10^{-2},$$

здесь d_1 – средний размер частиц до обработки; $d_1 = (1,0 - 1,5) 10^{-3}$ м;

d_2 – средний размер частиц после обработки, м, (при обработке массы на сите с отверстиями диаметром d_c принимают $d_2 = 0,3d_c$);

Θ – массовая доля мякоти в продукте, % (см. таблицу 3.3).

Общая мощность привода, Вт,

$$N = k(N_1 + N_2 + N_3)/h_m,$$

где $k = 1,5$ – коэффициент запаса мощности;

h_m – механический КПД привода ($h_m = 0,85 - 0,90$).

Задание: выполнить расчет протирочной машины, если заданы производительность машины Q , кг/с; вид перерабатываемого сырья; диаметр отверстий в сите d_c , мм; радиус бичей R , м; число бичей z ; шаг отверстий каркаса $a_{отв}$, м; содержание мякоти в продукте Θ , %.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 3.4

Таблица 3.5 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Производительность G , кг/с	Вид перерабатываемого сырья	Радиус бичей R , м	Диаметр отверстий сита d_c , мм	Число бичей z , шт.	Шаг отверстий каркаса, $a_{отв}$, мм	Марка протирочной машины
1	0,30	Яблоки	0,10	0,4	2	11	КПУ-М
2	0,31	Томаты	0,11	0,4	2	11	
3	0,32	Морковь	0,12	0,4	2	11	
4	0,33	Груши	0,17	0,4	2	11	
5	0,34	Сливы	0,15	0,4	2	11	
6	0,35	Виноград	0,20	0,4	2	11	1ПЗ1
7	0,40	Яблоки	0,12	0,6	4	12	
8	0,41	Томаты	0,13	0,6	4	12	
9	0,42	Морковь	0,13	0,6	4	12	
10	0,43	Груши	0,16	0,6	4	12	
11	0,44	Сливы	0,12	0,6	4	12	А9-КИТ
12	0,45	Виноград	0,18	0,6	4	12	
13	0,36	Яблоки	0,14	0,8	6	13	
14	0,37	Томаты	0,15	0,8	6	13	
15	0,35	Морковь	0,14	0,8	6	13	
16	0,39	Груши	0,15	0,8	6	13	Т1-КП2У
17	0,40	Сливы	0,11	0,8	6	13	
18	0,43	Виноград	0,16	0,8	6	13	
19	0,41	Яблоки	0,16	1,0	8	14	Т1-КП2Т
20	0,34	Томаты	0,17	1,2	8	14	
21	0,38	Морковь	0,15	1,2	8	14	
22	0,32	Груши	0,14	1,2	8	14	
23	0,30	Сливы	0,13	1,2	8	14	
24	0,31	Виноград	0,14	1,2	8	14	
25	0,33	Яблоки	0,18	1,2	10	15	

Контрольные вопросы. 1 Какой процесс называется протиранием? 2 Как классифицируются протирочные машины? 3 В чем заключается отличие финишеров от протирочных машин? 4 Какие виды бичевых устройств известны? 5 Какие требования предъявляются к протирочным машинам? 6 Каково устройство и принцип действия протирочной машины? 7 Какие недостатки свойственны современным протирочным машинам?

3.4 Практическое занятие № 4

Расчет диатомитового намывного фильтра

Цель работы: изучить теоретические основы процесса измельчения твердых материалов; освоить методику расчета вальцовой дробилки.

3.4.1 Теоретические сведения

Фильтрация – процесс разделения неоднородных систем с твердой дисперсной фазой.

Для удаления из пищевых сред различных механических примесей, осадка и отдельных составных компонентов при помощи пористой перегородки, способной пропускать жидкость, но задерживать взвешенные в ней твердые частицы, предназначены фильтры.

Основной частью любого фильтра является фильтровальный элемент, в качестве которого используют ткани из волокон растительного и животного происхождения, а также из синтетических, стеклянных, керамических и металлических материалов. Фильтровальные элементы, изготовленные из синтетических волокон (поливинилхлоридные, полиамидные, лавсановые), по своим свойствам во многих отношениях превосходят хлопчатобумажные и шерстя-

ные, так как сочетают высокую механическую прочность с термоустойчивостью и невосприимчивостью к воздействию микроорганизмов.

Металлические элементы выполняют в виде сеток из нержавеющей стали, а также перфорированных листов. Последние обычно используют при разделении систем, содержащих грубодисперсные частицы, и в качестве опорных перегородок для фильтровальных тканей.

В перерабатывающих производствах применяют фильтры периодического и непрерывного действия. В основном используют фильтры периодического действия. Наиболее распространены намывные фильтры, которые различаются по конструкции и компоновке фильтровальных элементов, дозирующих устройств, арматуре, способам очистки и удаления осадка. Особенностью намывных фильтров является создание фильтровальной перегородки из вспомогательного вещества, которым чаще всего служит диатомит, путем намывания его на опорную поверхность элементов фильтра.

Намывные фильтры, работающие под давлением, разделяют:

- по типу фильтровальных элементов – на рамные, листовые с сетчатыми элементами (расположенными вертикально и горизонтально), патронные, дисковые, ленточные и др.;
- по способу очистки осадка – с ручной очисткой, с механизированной очисткой;
- по конструкции дозирующего аппарата – со струйным аппаратом, с насосом-дозатором.

Рамные фильтры (фильтр-прессы) применяют для фильтрования вин, соков, минеральных вод, пива и других пищевых жидкостей.

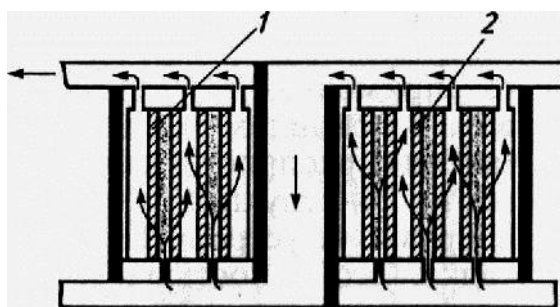
Рамный фильтр состоит из набора пластин с двусторонней рифленой поверхностью и полых рам, устанавливаемых поочередно на опорные балки фильтра. Пластины и рамы имеют в нижней и верхней частях кольцевые приливы с отверстиями, соединенные с внутренними полостями. Кольцевые приливы при соединении образуют входные и выходные коллекторы. В большин-

стве случаев пластины и рамы фильтров изготавливают из алюминиевого сплава с покрытием поверхности лаком.

Между каждой пластиной и рамой устанавливают специальный картон, служащий опорной поверхностью для намываемого слоя диатомита. Кольцевые приливы снабжают резиновыми уплотнениями. Фильтр обычно герметизируют с помощью ходового винта с ручным, механическим или гидравлическим приводом. Наибольшее распространение получили два типа привода: комбинированный и механический. При комбинированном приводе свободный ход винта выбирают вручную, а дальнейший зажим осуществляют гидравлически с помощью ручного плунжерного насоса.

Размеры пластин фильтров 600х600, 800х800 и 1000х1000 мм при производительности 25000 л/ч и более.

Схема течения пива в комбинированном фильтре показана на рисунке 3.7.



1 – осветляющий картон; 2 – опорный картон

Рисунок 3.7 – Схема течения пива через комбинированный фильтр

В таблице 3.5 приведены основные технические данные намывных фильтров.

3.4.1 Методика расчета

Производительность фильтров ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяют по известной площади поверхности фильтрования F (м^2):

$$Q_1 = Fq / (t_{осн} + t_{всп}),$$

где q – пропускная способность фильтра, $\text{м}^3/\text{м}^2$;

$t_{осн}$ – время основного непосредственного фильтрования, ч;

$t_{всп}$ – вспомогательное время для подготовки фильтра к работе, ч.

Таблица 3.6 – Основные технические данные намывных рамных фильтров

Модель	РЗ-ВФД-50	РЗ-ВФД-50
Производительность (максимальная), дал/ч	2500	1250
Площадь поверхности фильтрования, м^2	50	25
Размер рам, мм	600х600	600х600
Установленная мощность, кВт	20,6	11,1
Максимальное рабочее давление, МПа	0,6	0,6
Максимальная подача насоса-дозатора, л/ч	250	250
Рабочее давление воздуха, МПа	0,4	0,4
Габаритные размеры, мм	8500х1200х1980	6800х1200х1980
Масса, кг	3500	2800

Вспомогательное время

$$t_{всп} = t_{зар} + t_n + t_m.$$

где $t_{зар}$ – время зарядки фильтра, ч;

t_n – время нанесения слоев диатомита на поверхность фильтрования, ч;

t_m – время мойки и санитарной обработки фильтра, ч.

Экспериментально установлены следующие соотношения основного и вспомогательного времени в зависимости от конструкции фильтрующих аппаратов:

Таблица 3.7 – Основные соотношения времени от конструкции аппаратов

Наименование показателя	Значение		
$t_{осн}$, ч	5–10	8–13	9–18
$t_{всп}$, ч	1	2	3

Необходимое число камер в камерных фильтр-прессах

$$n = F / f ,$$

где f – площадь поверхности фильтрования одной камеры, м^2 .

$$f = 2(a - 2b)^2 ,$$

где a – сторона квадрата плиты или рамы по наружным размерам, м;

b – ширина контакта плиты и рамы, м.

Силы давления жидкости соответственно на плиту P_1 (Н) и на площадь контакта между плитой и рамой P_2 (Н)

$$P_1 = F_{\phi} p_{\phi}, \quad P_2 = F_{\kappa} p_{\kappa},$$

где F_{ϕ} – площадь поверхности плиты, на которую давит фильтруемое пиво, м^2 ;

p_{ϕ} – давление жидкости при фильтровании, Па [$p_{\phi} = (0,1-0,4) \cdot 10^6$ Па];

F_{κ} – площадь поверхности контакта между плитой и рамой, м^2 ;

p_{κ} – минимальное давление на площадь контакта, необходимое для герметизации стыка между плитой и рамой, Па.

Исходная величина для расчета механизма зажима (рисунок 3.8) выражается следующим образом:

$$P_3 > P_1 + P_2 .$$

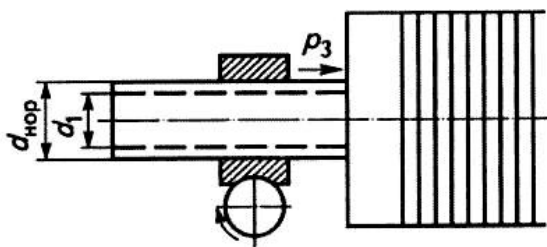


Рисунок 3.8 – Схема механизма зажима плит и рам фильтр-пресса

При выборе насоса, подающего исходный продукт в фильтр, необходимо учитывать сопротивление перегородки, Па·с:

$$R = 1,5R_0 m$$

где R_0 – коэффициент сопротивления [$R_0 = (1-3) \cdot 10^{10}$];

m – динамическая вязкость пива, Па·с.

Если в течение цикла работы давление не изменяется, то скорость фильтрования из-за наличия осадка падает, так как сопротивление осадка возрастает. Для постоянной скорости фильтрования необходимо увеличивать давление в течение всего цикла работы.

Пример расчета. Рассчитать площадь поверхности фильтрования диатомитового намывного фильтра для осветления пива, расход диатомита и фильтровального картона за один цикл фильтрования, а также определить необходимую мощность электродвигателя механизма зажима рам и плит этого фильтра и необходимые размеры винта и гайки, если производительность фильтра ($Q_\phi = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ по фильтрованному пиву (фильтрату), средняя скорость фильтрования $v_{cp} = 0,5 \text{ м}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, время основного фильтрования $t_{осн} = 20 \text{ ч}$, вспомогательное время $t_{всп} = 4 \text{ ч}$. Норма расхода диатомитового картона $q_k = 0,25 \text{ кг}/\text{м}^3$, диатомита сорта А ($q_{дА} = 0,5 \text{ кг}/\text{м}^3$, диатомита сорта Б $q_{дБ} = 1,3 \text{ кг}/\text{м}^3$. Общий максимальный расход диатомита по нормам не должен превышать $M = 50 \text{ кг}/\text{ч}$. Осевое усилие винтового зажима рам и плит фильтр-пресса $P_3 = 260946 \text{ Н}$, коэффициент запаса $K = 1,4$, допускаемое напряжение на сжатие ($S_{сж} = 7848 \cdot 10^4 \text{ Па}$, угол трения $\varphi = 6^\circ$. Частота вращения вала электродвигателя $n = 16,5 \text{ с}^{-1}$. Передаточное число червячного редуктора $i = 50$, его КПД $\eta_n = 0,7$.

Пропускная способность фильтра

$$q = v_{cp} t_{осн} = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ м}^3/\text{м}^2.$$

Площадь поверхности фильтрования

$$F = Q_\phi (t_{осн} + t_{всп}) / q = 25(20 + 4) / 10 = 60 \text{ м}^2.$$

Расход диатомитового картона

$$M_k = q_k Q_{\phi} = 0,25 \cdot 25 = 0,625 \text{ кг/ч.}$$

Расход диатомита сорта А

$$M_{\partial A} = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ кг/ч.}$$

Расход диатомита сорта Б

$$M_{\partial B} = 1,3 \cdot 25 = 32,5 \text{ кг/ч.}$$

Общий расход диатомита по приведенным нормам

$$M_{\partial} = M_{\partial A} + M_{\partial B} = 12,5 + 32,5 = 45 \text{ кг/ч.}$$

Сравниваем полученное значение M_{∂} с максимальным M , и если расчетное значение получилось больше заданного максимального, следует уменьшить исходную производительность фильтра. Далее рассчитываем необходимый диаметр винта и гайки механизма зажима рам и плит фильтр-пресса. Диаметр винта определяем из условия прочности:

$$d_1 = \sqrt{4KP_3 / (p s_{сж})} = \sqrt{4 \cdot 1,4 \cdot 260946 / (p \cdot 7848 \cdot 10^4)} = 0,077 \text{ м.}$$

Выбираем для винта трапецеидальную резьбу с параметрами: наружный диаметр резьбы $d_{нар} = 0,09 \text{ м}$, средний диаметр резьбы $d_{ср} = 0,084 \text{ м}$, внутренний диаметр резьбы $d_1 = 0,077 \text{ м}$, шаг резьбы $s = 0,012 \text{ м}$.

Угол подъема средней винтовой линии резьбы

$$b = \arctg \left[s / (p d_{ср}) \right] = \arctg \left[0,012 / (p \cdot 0,084) \right] = 2^{\circ}35'.$$

Необходимый крутящий момент для зажима рам и плит

$$M_{кр} = \left[P_3 d_{ср} \cdot \tg(b + \varphi) \right] / 2 = (260\,946 \cdot 0,084 \cdot 0,15) / 2 = 1644 \text{ Нм.}$$

Угловая скорость вала электродвигателя

$$\omega = 2\pi n = 2 \cdot \pi \cdot 16,5 = 103,6 \text{ с}^{-1}.$$

Мощность электродвигателя

$$N = M_{кр} \omega / (1000 \eta_n) = 1644 \cdot 103,6 / (1000 \cdot 50 \cdot 0,7) = 4,9 \text{ кВт.}$$

Задание. Рассчитать площадь поверхности фильтрования диатомитового намывно-го фильтра для осветления пива, расход диатомита и фильтровального картона за один цикл фильтрования, а также определить необходимую мощность электродвигателя механизма зажима рам и плит этого фильтра и необходимые размеры винта и гайки, если производительность фильтра Q_{ϕ} по фильтрованному пиву (фильтрату); средняя скорость фильтрования v_{cp} ; время основного фильтрования $t_{осн}$; время вспомогательное $t_{всп}$. Норма расхода диатомитового картона $t_{всп}$, диатомита сорта А $q_{дА}$; диатомита сорта Б $q_{дБ}$. Общий максимальный расход диатомита по нормам не должен превышать $M = 50$ кг/ч. Осевое усилие винтового зажима рам и плит фильтр-пресса $P_3 = 260946$ Н, коэффициент запаса K , допускаемое напряжение на сжатие $S_{сж} = 7848 \cdot 10^4$ Па, угол трения $\varphi = 6^\circ$. Частота вращения вала электродвигателя n . Передаточное число червячного редуктора $i = 50$, КПД передачи η_n .

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.8 – Варианты индивидуальных заданий

Вариант	$Q_{\phi},$ м ³ /ч	$v_{cp},$ м ³ /(м ² ·ч)	$t_{осн},$ ч	$t_{всп},$ ч	$q_{к},$ кг/м ³	$q_{дА},$ кг/м ³	$q_{дБ},$ кг/м ³	K	n	η_n
1	20	0,30	18	2,5	0,10	0,30	1,0	1,3	14,0	0,70
2	25	0,35	16	3,0	0,15	0,33	1,2	1,4	14,2	0,72
3	12	0,40	22	3,5	0,20	0,35	1,4	1,5	14,6	0,75
4	15	0,45	20	4,0	0,25	0,40	1,5	1,3	14,8	0,77
5	18	0,50	22	5,0	0,30	0,45	1,3	1,4	15,0	0,80
6	20	0,40	2,5	2,5	0,10	0,43	1,0	1,5	15,2	0,70
7	25	0,45	3,0	3,0	0,15	0,46	1,2	1,3	15,4	0,72
8	12	0,50	3,5	3,5	0,20	0,41	1,4	1,4	15,6	0,75
9	15	0,30	4,0	4,0	0,25	0,34	1,5	1,5	15,8	0,77
10	18	0,35	5,0	5,0	0,30	0,35	1,3	1,3	16,0	0,80
11	20	0,35	2,5	2,5	0,10	0,33	1,0	1,4	16,2	0,70
12	25	0,40	3,0	3,0	0,15	0,35	1,2	1,5	16,4	0,72
13	12	0,45	3,5	3,5	0,20	0,34	1,4	1,3	16,6	0,75
14	15	0,50	4,0	4,0	0,25	0,35	1,5	1,4	16,8	0,77
15	18	0,40	5,0	5,0	0,30	0,35	1,3	1,5	17,0	0,80

Контрольные вопросы и задания. 1. Опишите процесс фильтрации, устройство и принцип работы рамного фильтр-пресса. 2. С какой целью добавляют диатомит в пиво при фильтровании? 3. Перечислите основные факторы, влияющие на эффективность процесса фильтрования.

4 Оборудование для механической переработки сырья и полуфабрикатов соединением

4.1 Практическое занятие № 1

Расчет тестомесильной машины

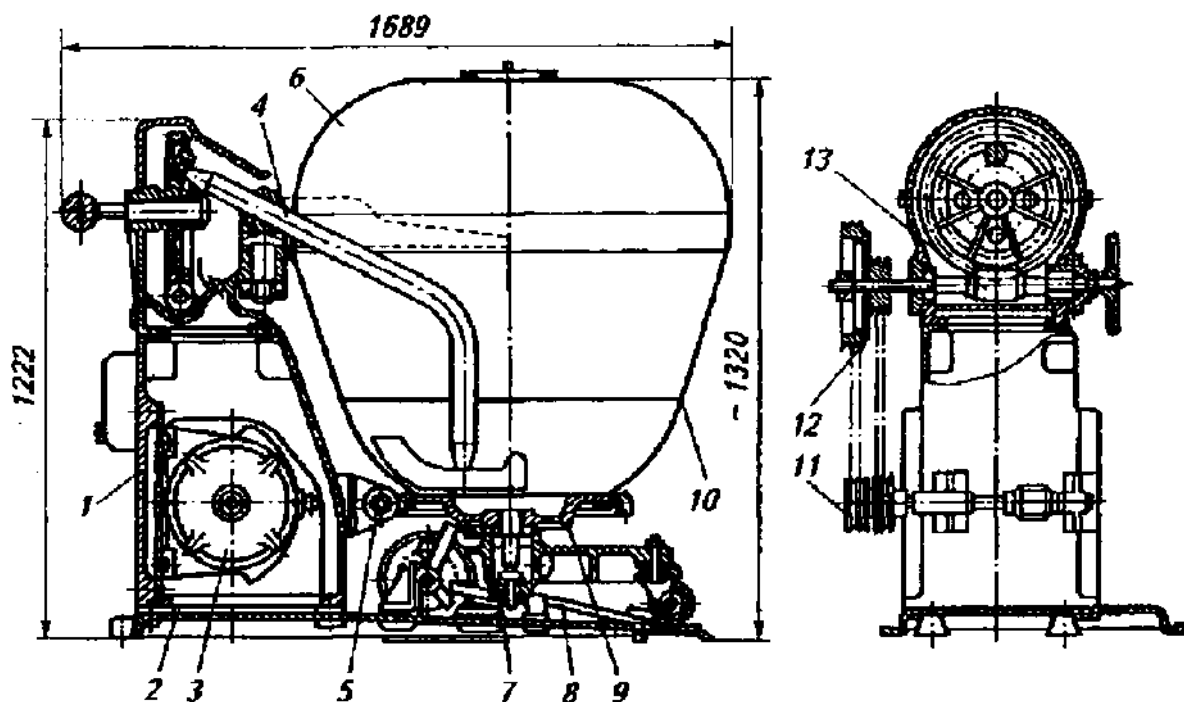
Цель работы: изучить теоретические основы процесса замеса теста, выполнить расчет тестомесильной машины.

4.1.1 Теоретические сведения

Тестомесильные машины периодического действия «Стандарт» и Т1-ХТ2А, применяемые на хлебозаводах малой и средней мощности, предназначены для замеса опары и теста из пшеничной и ржаной муки в подкатных дежах вместимостью 330 л.

Тестомесильная машина «Стандарт» показана на рисунке 4.1.

Она состоит из станины 1, закрепленной на фундаментной плите 2. Внутри станины расположен приводной электродвигатель 3, а снаружи – червячный вал 5, служащий для вращения подкатной дежи 10. Последняя смонтирована на трехколесной каретке 7, которая накатывается на фундаментную плиту и закрепляется на ней с помощью упора и специального фиксатора 8. При этом имеющийся на деже зубчатый венец 9 входит в зацепление с червячным валом 5. Дежа закрывается крышкой 6.



1 – станина; 2 – плита; 3 – электродвигатель; 4 – месильный рычаг; 5 – вал;
6 – крышка; 7 – каретка; 8 – фиксатор; 9 – зубчатый венец; 10 – дежа; 11 – кли-
норемменная передача; 12 – фрикционная муфта; 13 – червячный редуктор

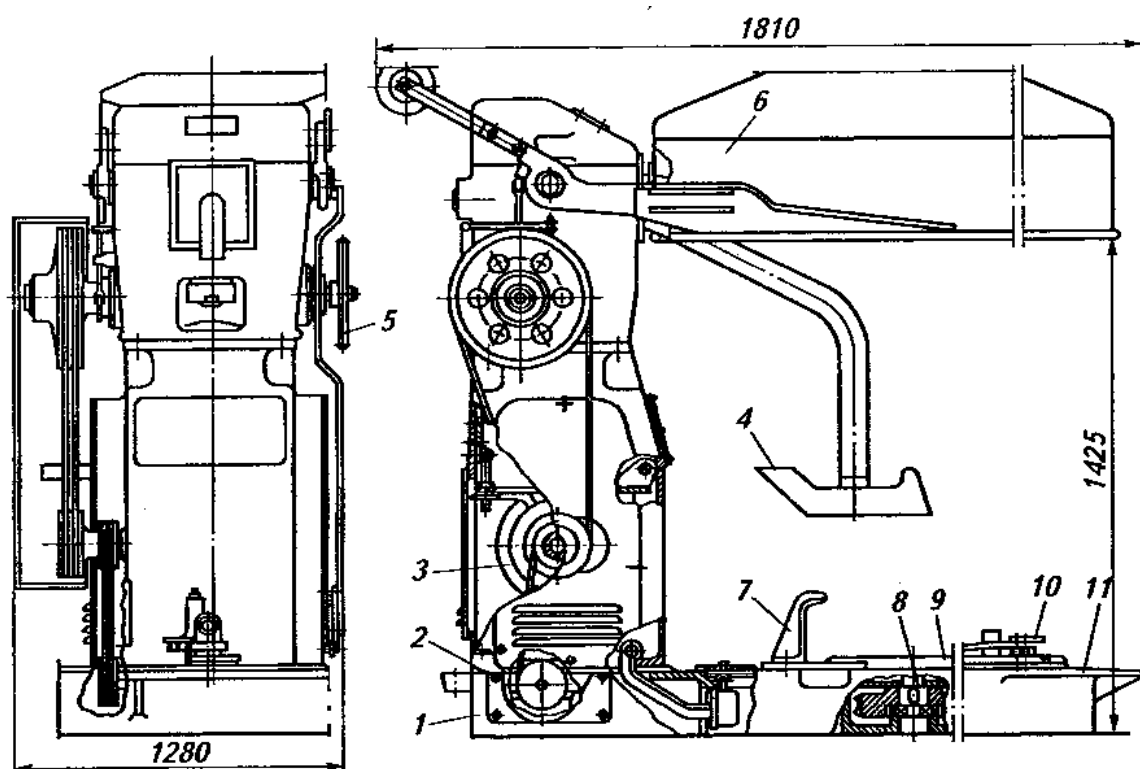
Рисунок 4.1 – Тестомесильная машина «Стандарт»

Сверху на станине расположен червячный редуктор 13, приводимый в движение от электродвигателя через клиноремennую передачу 11 и фрикционную муфту 12. Месильный рычаг 4 на нижнем конце имеет лопасть, которая и замешивает тесто в деже.

Верхний конец месильного рычага с помощью подшипника шарнирно соединен с колесом червячного редуктора и благодаря промежуточной шаровой опоре совершает поступательное круговое движение. Аналогичное движение совершает и месильная лопасть. Во время работы машины месильная лопасть в нижнем положении проходит плотно возле днища дежи, а в верхнем выходит за плоскость обреза нижней ее кромки. При этом в начале замеса мука интенсивно распыляется. Перемешивание и замес происходят не на всей траектории движения месильной лопасти, а лишь на 20 %, что существенно снижает КПД ма-

шины. Замес осуществляется при постоянной частоте вращения месильного рычага ($n = 23,5 \text{ мин}^{-1}$), поэтому на машине невозможно обеспечить разную интенсивность замеса на различных стадиях процесса.

Тестомесильная машина Т1-ХТ2А (рисунок 4.2) отличается от описанной выше машины тем, что вместо червячного привода дежи с помощью червячного венца осуществляется привод плиты, на которой закрепляется дежа.



1 – плита; 2 – станина; 3 – приводное устройство; 4 – месильная лопасть; 5 – маховик; 6 – откидная крышка; 7 – кронштейн; 8 – редуктор; 9 – поворотный стол; 10 – педаль; 11 — направляющие

Рисунок 4.2 – Тестомесильная машина Т1-ХТ2А

При этом улучшаются санитарные условия работы, уменьшается масса дежи, удешевляется ее изготовление, а также повышается надежность машины.

Станина 2 тестомесильной машины с приводным устройством 3, месильной лопастью 4, маховиком 5 смонтирована на фундаментной плите 1. Дежа снабжена откидной крышкой 6. В фундаментной плите смонтированы два чер-

вячных редуктора. На выходном валу редуктора 8 насажен поворотный стол 9, на котором установлены направляющие 11 для дежи, стойка и фиксатор с педалью 10, упорный кронштейн 7.

При работе дежу накатывают на поворотный стол, центрируют и фиксируют при помощи защелки. Затем загружают дежу, закрывают крышку и включают привод. По окончании замеса крышку поднимают. При этом выключается фрикционная муфта на валу привода месильного органа и затормаживается ее привод, а стол с дежой продолжает вращаться до тех пор, пока специальный упор на плите не коснется конечного выключателя, который отключает электродвигатель. Дежа останавливается в положении, удобном для откатывания. С помощью ножной педали освобождают фиксатор и откатывают дежу.

Технические данные тестомесильных машин приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные технические данные тестомесильных машин

Показатель	«Стандарт»	T1-XT2A
Вместимость дежи, м ³	0,33	0,33
Продолжительность замеса, мин	10	6 – 10
Число качаний месильного рычага, мин ⁻¹	23,5	24,2
Частота вращения дежи, мин ⁻¹	5,9	6,5
Мощность электродвигателя, кВт	4,5	3
Масса машины без дежи, кг	553	662

4.1.2 Методика расчета

Производительность тестомесильной машины, кг/ч,

$$P_m = 0,01P_n(100 + Y)k_0$$

где P_n – производительность печи по горячим изделиям, кг/ч;

Y – упек, % массы горячей продукции;

k_0 – коэффициент, учитывающий возможные остановки машины на регулировку и очистку (у машин периодического действия $k_0 = 1,2 – 1,3$).

Работа, расходуемая на перемещение массы, Дж,

$$A = zbpr_m n^2 \sin a \left(r_1^2 - r_2^2 \right) \left[(1-k) p^2 \left(r_1^2 + r_2^2 \right) + 0,5kS^2 \right].$$

Работа, расходуемая на привод месильных лопастей, Дж,

$$A_2 = 2zbd r_{\text{л}} p^2 n^2 \left(r_1^2 - r_2^2 \right) / 3,$$

где z – число месильных лопастей на валу;

b – ширина лопасти, м;

r_m – плотность теста, кг/м³;

n – частота вращения вала лопастей, мин⁻¹;

a – угол наклона лопасти к оси вала, град;

r_1 – наибольший радиус окружности, описываемой лопастью, м;

r_2 – наименьший радиус окружности, описываемой лопастью, м;

k – коэффициент подачи теста, показывающий, какая часть теста, захваченная лопастью, перемещается в осевом направлении для машины такого типа ($k = 0,1 - 0,5$);

S – шаг установки лопастей, м;

d – толщина лопасти, м;

$r_{\text{л}}$ – плотность материала, из которого изготовлена лопасть, кг/м³ (для расчета принимают $r_{\text{л}} = 7800$ кг/м³).

Работа, расходуемая на нагрев теста и соприкасающихся с ним металлических частей, Дж,

$$A_3 = (t_2 - t_1) (m_t c_t - m_m c_m) / (n t_3),$$

где t_1, t_2 – температуры теста соответственно в начале и конце замеса, °С;

m_t – масса теста, находящегося в месильной емкости, кг;

m_m – масса металлоконструкции машины, контактирующая с тестом, кг;

c_t, c_m – средние теплоемкости соответственно теста и металла, Дж/(кг·К);

t_3 – продолжительность замеса, с.

Работа, расходуемая на изменение структуры теста, Дж,

$$A_4 = (0,05 \dots 0,1) A_1.$$

Общий расход энергии, Дж,

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4.$$

Установочная мощность электродвигателя привода, кВт,

$$N = An / (1000h).$$

Задание. Рассчитать производительность тестомесильной машины и мощность электродвигателя для ее привода, если производительность печи P_n ; упек по отношению к массе горячей продукции $U = 7 \%$; продолжительность замеса t_3 ; продолжительность вспомогательных операций 250 с. Параметры месильной машины: $r_1; r_2; b; d; \alpha = 45^\circ$. Число месильных лопастей $z = 2$; шаг их установки S ; частота вращения вала лопастей n . Коэффициенты $k_0 = 1,3$, $k = 0,2$. Температура теста $t_1 = 28^\circ\text{C}$, $t_2 = 35^\circ\text{C}$. Масса теста в месильной емкости m_t . Теплоемкости при 35°C составляют $c_m = 2500 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ при $\rho_m = 1100 \text{ кг}/\text{м}^3$; $c_{\text{л}} = 500 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ при $\rho_{\text{л}} = 7800 \text{ кг}/\text{м}^3$. Масса металлических частей, нагреваемых при замесе теста, $m_{\text{м}}$. КПД привода $h = 0,85$.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблица 4.2.

Контрольные вопросы. 1. От каких параметров зависит работа, расходуемая на перемещение массы в тестомесильной машине? 2. Каковы основные составляющие мощности привода тестомесильных машин периодического действия? 3. Чем объясняется наличие клиноременной, цепной и червячной передач в кинематической схеме тестомесильной машины? 4. Каков характер движения месильного органа в тестомесильной машине периодического действия?

Таблица 4.2 – Варианты индивидуальных заданий

Вариант	Π_n , кг/ч	t_3 , с	r_1 , м	r_2 , м	b , м	d , м	S , м	n , мин ⁻¹	m_m , кг	m_M , кг
1	200	130	0,127	0,020	0,0135	0,0085	0,180	14,4	40	15,0
2	210	132	0,128	0,021	0,0136	0,0086	0,182	14,5	41	15,1
3	220	134	0,129	0,022	0,0137	0,0087	0,184	14,6	42	15,2
4	230	136	0,130	0,023	0,0138	0,0088	0,186	14,7	43	15,3
5	240	138	0,131	0,024	0,0139	0,0089	0,188	14,8	44	15,4
6	250	140	0,132	0,025	0,0140	0,0090	0,190	14,9	45	15,5
7	260	142	0,133	0,026	0,0141	0,0091	0,192	15,0	46	15,6
8	270	144	0,134	0,027	0,0142	0,0092	0,194	15,1	47	15,7
9	280	146	0,135	0,028	0,0143	0,0093	0,196	15,2	48	15,8
10	290	148	0,136	0,029	0,0144	0,0094	0,198	15,3	49	15,9
11	300	150	0,137	0,030	0,0145	0,0095	0,200	15,4	50	16,0
12	310	152	0,138	0,031	0,0146	0,0096	0,202	15,5	51	16,1
13	320	154	0,139	0,032	0,0147	0,0097	0,204	15,6	52	16,2
14	330	156	0,140	0,033	0,0148	0,0098	0,206	15,7	53	16,3
15	340	158	0,141	0,034	0,0149	0,0099	0,208	15,8	54	16,4

4.2 Практическое занятие № 2

Расчет лопастной мешалки

Цель работы: изучение теоретических основ процесса перемешивания жидких пищевых продуктов; знакомство с классификацией мешалок, их конструкциями и принципом работы; выполнение расчета лопастной мешалки.

4.2.1 Теоретические сведения

В различных отраслях пищевой промышленности возникает необходимость в перемешивании жидких продуктов: для смешивания двух или нескольких жидкостей, сохранения определенного технологического состояния эмульсий и суспензий, растворения или равномерного распределения твердых про-

дуктов в жидкости, интенсификации тепловых процессов или химических реакций, получения или поддержания определенной температуры или консистенции жидкостей и так далее.

Перемешивающие аппараты классифицируются:

- *по назначению*: для смешивания, растворения, темперирования;
- *по расположению аппарата*: вертикальные, горизонтальные, наклонные, специальные;
- *по характеру обработки рабочей среды*: смешивание одновременно во всем объеме, в части объема и пленочное смешивание;
- *по характеру движения жидкости в аппарате*: радиальное, осевое, тангенциальное и смешанное;
- *по принципу действия*: механические, пневматические, инжекторные, циркуляционные и специальные;
- *по отношению к тепловым процессам*: со стеночной поверхностью теплообмена, с погружной поверхностью теплообмена и без использования тепловых процессов.

Механические перемешивающие аппараты получили наибольшее распространение в промышленности. По конструктивным признакам их можно разделить на лопастные, рамные, планетарные, пропеллерные, турбинные и тарельчатые.

Наиболее распространенным видом механических перемешивающих аппаратов является реактор МЗС-316 (рисунок 4.3).

Перемешивание продукта осуществляется мешалкой, состоящей из вертикального вала с укрепленными на нем лопастями. В нижней части корпуса имеются два патрубка для спуска конденсата и выгрузки готового продукта.

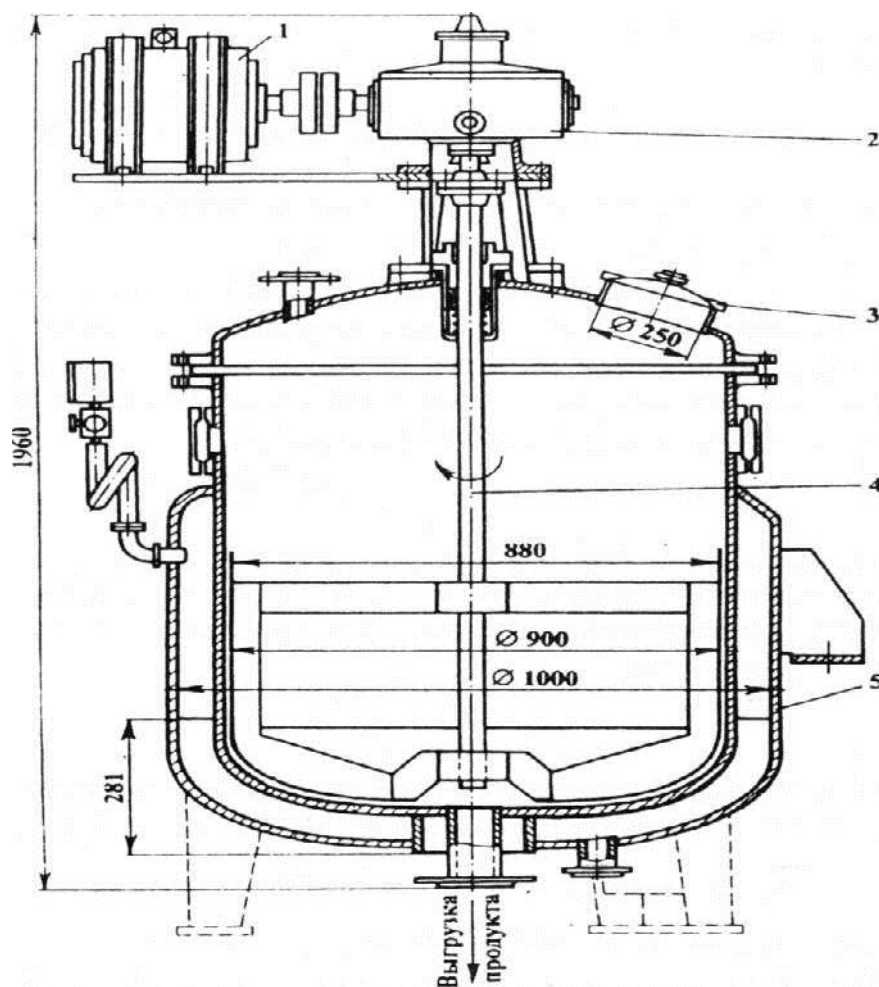
4.2.2 Методика расчета

Уровень жидкости в спокойном состоянии h , м,

$$h = V / (\rho R_{an}^2),$$

где V – объем жидкости, м³;

R_{an} – радиус аппарата, м ($R_{an} = D_{an}/2$).



1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – крышка; 4 – мешалка; 5 – корпус

Рисунок 4.3 – Реактор МЗС-316

Предельная угловая скорость вращения лопасти рад/с, при которой жидкость в емкости размерами R_{an} и H , м, налитая до уровня h , не выплеснулась

через край емкости (условие невыплескивания жидкости из аппарата) будет равна

$$w_{нв} < \frac{2}{R_{ан}} \sqrt{g(H-h)}.$$

Предельная угловая скорость вращения лопасти $w_{нл}$, рад/с, которую она может иметь для того, чтобы ее верхний край на уровне h_1 не оказался выше уровня перемешиваемой жидкости (условие необнажения лопасти мешалки),

$$w_{нл} < \frac{2}{R_{ан}} \sqrt{g(h-h_1)},$$

Предельная угловая скорость вращения лопасти w_o , рад/с, при которой будет выполнено условие необнажения дна аппарата,

$$w_o = \frac{2}{R_{ан}} \sqrt{h}.$$

Зная $w_{нв}$, $w_{нл}$ и w_o выбираем $w_{раб}$ рад/с.

Максимальная высота жидкости в аппарате h_{max} , м (рисунок 4.4)

$$h_{max} = h + \frac{w_{раб}^2 R_{ан}^2}{4g}.$$

Тогда высота аппарата H , м,

$$H = h_{max} + K,$$

где K – некоторый запас высоты, м (принимается $K = 0,5 - 1,2$ м).

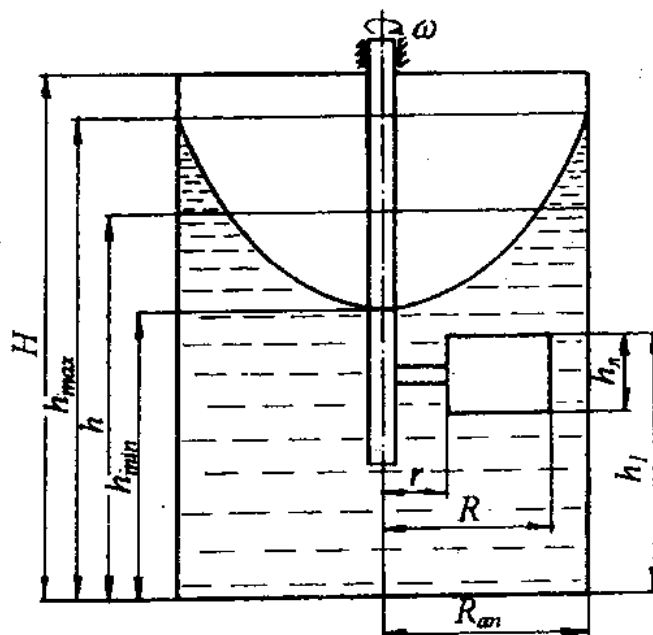


Рисунок 4.4 – Схема к расчету скорости лопастной мешалки

Минимальная высота жидкости в аппарате $h_{\min}$, м, при которой процесс будет протекать нормально, равна

$$h_{\min} = h - \frac{w_{\text{раб}}^2 R_{\text{ан}}^2}{4g}.$$

Для того чтобы верхний край лопасти не оказался выше уровня воронки вращающейся жидкости, нижний уровень $h_{\min}$ воронки в центре должен быть выше плоскости верхнего края лопасти h_l (рисунок 4.4)

$$h_{\min} > h_l.$$

Крутящий момент на валу лопасти M , Нм,

$$M = 0,25c r h_l w_{\text{раб}} \left(R^4 - r^4 \right),$$

где c – коэффициент сопротивления, величина которого зависит от формы и скорости тела, вязкости жидкости ($c = 20 - 180$);

r – плотность перемешиваемой жидкости, кг/м³ (в расчетах принимается

$$r = 1100 - 1350 \text{ кг/м}^3);$$

h_l – высота лопасти, м;

R и r – соответственно радиусы вращения наружного и внутреннего краев лопасти, м (рисунок 4.4).

Мощность потребная на вращение лопасти N , кВт,

$$N = Mw.$$

Следует учесть, что найденная по этой формуле мощность потребна только на вращение одной лопасти. Для того чтобы определить мощность привода вала лопастной мешалки, следует учесть общий КПД привода η_{np} , количество лопастей z и принять некоторый запас мощности. Поэтому мощность электродвигателя привода вала лопастной мешалки $N_{\text{э}}$, кВт, равна

$$N_{\text{э}} = Nz k_3 / \eta_{np},$$

где z – количество лопастей на валу, шт.;

η_{np} – общий КПД привода ($\eta_{np} = 0,82 - 0,94$);

k_3 – коэффициент запаса мощности ($k_3 = 1,5 - 1,8$).

Задание: выполнить расчет лопастной мешалки, если заданы: V – объем жидкости, м³; D_{an} – диаметр аппарата, м; R и r – соответственно радиусы вращения наружного и внутреннего краев лопасти, м (рисунок 4.4); z – число лопастей на валу, шт.; h_l – высота лопасти, м.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблица 4.3.

Контрольные вопросы: 1 В каких отраслях пищевой промышленности используются мешалки? 2 Каково устройство и принцип действия лопастной мешалки? 3 Какова классификация перемешивающих машин? 4 От каких параметров зависит производительность лопастных мешалок? 5 Какие факторы влияют на режим перемешивания продукта? 6 Как размеры и форма лопастей влияют на мощность привода лопастных мешалок? 7 Из каких соображений выбирается рабочая частота вращения лопастного вала?

Таблица 4.3 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	$V, \text{м}^3$	$D_{an}, \text{м}$	$R, \text{м}$	$r, \text{м}$	$z, \text{шт.}$	$h_n, \text{м}$	Марка аппарата
1	0,50	0,90	0,44	0,40	2	0,45	МЗС-241
2	0,54	0,91	0,45	0,41	3	0,46	
3	0,58	0,92	0,45	0,40	4	0,47	
4	0,60	0,93	0,46	0,42	6	0,48	
5	0,62	0,94	0,46	0,41	2	0,49	
6	0,66	0,95	0,46	0,40	3	0,50	МЗС-320
7	0,68	0,96	0,47	0,43	4	0,51	
8	0,70	0,97	0,47	0,42	6	0,52	
9	0,73	0,98	0,48	0,43	2	0,53	
10	0,75	0,99	0,48	0,44	3	0,45	
11	0,77	1,00	0,49	0,44	4	0,46	ВНИИКОП-2
12	0,80	1,01	0,49	0,45	6	0,47	
13	0,60	1,02	0,50	0,44	2	0,48	
14	0,62	1,03	0,50	0,45	3	0,49	
15	0,66	1,04	0,51	0,46	4	0,50	
16	0,68	1,05	0,51	0,45	6	0,51	МЗС-320
17	0,70	1,06	0,52	0,47	2	0,52	
18	0,73	1,07	0,52	0,48	3	0,53	
19	0,75	1,08	0,53	0,47	4	0,50	
20	0,80	1,09	0,53	0,48	2	0,51	МЗС-320
21	0,83	1,10	0,54	0,48	3	0,52	
22	0,86	1,11	0,54	0,49	4	0,53	
23	0,88	1,12	0,55	0,49	6	0,54	
24	0,90	1,13	0,55	0,50	2	0,55	
25	0,92	1,14	0,56	0,51	4	0,52	

5 Оборудование для переработки сырья и полуфабрикатов формованием

5.1 Практическое занятие № 1

Расчет основных параметров макаронного пресса

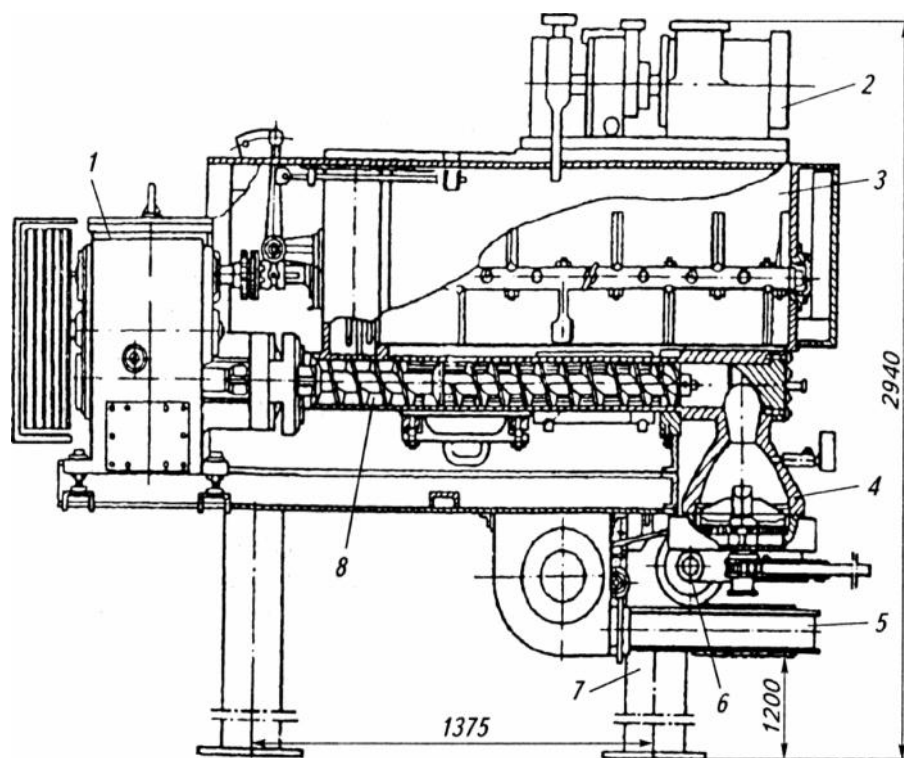
Цель работы: изучить теоретические основы процесса прессования макаронных изделий; освоить методику расчета основных параметров машин с прессующими рабочими органами.

5.1.1 Теоретические сведения

Сущность прессования заключается в обработке материала внешним давлением. Прессы применяют для отжима жидкой фазы, придания продукту определенной формы, а также для уплотнения продукта. Различают механические прессы периодического и непрерывного действия.

Прессы периодического действия бывают рычажными, винтовыми, гидравлическими и пневматическими. Прессы непрерывного действия – шнековые, вальцовые, ротационные, штанговые, кольцевые, ленточные и дисковые. В шнековых прессах непрерывного действия осуществляют замес макаронного теста и его последующее формование. Эти прессы различаются конструкцией дозаторов и прессующих головок, числом камер тестомесителя и их расположением, числом шнеков, формой матриц и местом вакуумирования.

Шнековый макаронный пресс ЛПЛ-2М (рисунок 5.1) состоит из привода 1, дозирующего устройства 2, тестомесителя 3, прессующей головки 4, обдувочного устройства 5, системы трубопроводов и прессующего корпуса 8. Пресс имеет механизм резки 6, набор круглых матриц и вакуумной системой. Все эти узлы и механизмы установлены на общей станине 7.



1 – привод; 2 – дозирующее устройство; 3 – тестомеситель; 4 – прессующая головка; 5 – обдувочное устройство; 6 – механизм резки; 7 – станина; 8 – прессующий корпус

Рисунок 5.1 – Шнековый макаронный пресс

Основной рабочий орган пресса – матрица представляет собой металлический диск или прямоугольную пластину со сквозными отверстиями, профиль которых определяет форму изделий.

Шнековый макаронный пресс работает следующим образом. Мука самотеком непрерывно из бункера поступает в дозатор, из которого вращающимся шнеком подается в тестомеситель. Одновременно подогретая вода температурой от 40 °С до 60 °С из дозатора по трубе поступает в тестомеситель. В зависимости от влажности муки расход воды составляет от 80 до 90 л/ч.

Основные технические данные шнекового макаронного пресса ЛПЛ-2М приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Технические данные макаронного пресса ЛПЛ-2М

Наименование показателей	Значения
Производительность, кг/ч	До 375
Частота вращения, мин ⁻¹ : прессующего шнека вала тестомесителя	41 82
Число резов режущего механизма в минуту	18 – 60
Расход воды, л/ч	60 – 70
Температура воды, °С	40 – 60
Значение вакуума в прессующем корпусе, Па	50 – 60
Расход воздуха на обдувку, м ³ /ч	500
Потребная мощность, кВт	23
Габаритные размеры, мм	2920x2710x2940
Масса, кг	3260

Необходимый уровень заполнения корытообразной емкости тестом достигается регулированием наклона плоскости концов лопаток к оси вала. Лопатки отбрасывают часть комочков теста от выходного отверстия к дозаторам. Отбрасывание теста в обратном направлении в оптимальных количествах необходимо для обеспечения нормальной циркуляции теста, что удлиняет время его нахождения в емкости до 10 мин и способствует набуханию клейковины и лучшей проработке теста лопатками.

Замешанная в виде комочков и крупинок тестообразная масса через выходное отверстие, расположенное в нижней части тестомесителя, направляется в прессующий корпус. При этом, регулируя заслонкой размер этого отверстия, можно изменять количество теста, подаваемого в прессующий корпус, и тем самым изменять производительность пресса.

В прессующем корпусе тесто, обтекает шайбу на шнеке и поступает в перепускной канал, где подвергается вакуумированию, то есть из него удаляются воздух и пары воды. Это позволяет, во-первых, получить макаронное тесто более плотной структуры, повысить механическую прочность высушенных изделий и, во-вторых, понизить скорость реакции окисления кислородом воздуха пигментных веществ группы каротиноидов, придаю-

щих изделиям приятный желто-кремовый цвет. Остаточное давление воздуха в прессующем корпусе 10 кПа. Из перепускного канала тесто проходит сквозь решетку в прессующий корпус, захватывается витками шнека, нагнетается в головку и продавливается через формующие отверстия матрицы при давлении от 6,5 МПа до 7,0 МПа.

Суть формования – придание макаронному тесту формы, характерной для данного вида изделий (трубчатая, нитеобразная, ленточная, фигурная). Выходящие из матрицы изделия проходят обдувочное устройство, имеют температуру равную температуре прессованного теста, которая составляет от °С 45 до 50 °С.

5.1.2 Методика расчета

Исходя из заданной производительности макаронного пресса G определяют часовой расход муки M_u , необходимой для приготовления теста, кг:

$$M_u = G \frac{100 - W_n}{100 - W_m},$$

где W_n – влажность готовых изделий (принимают равной 13 %);

W_m – влажность муки, % (принимают равной 14,5 %);

G – заданная производительность, кг/ч.

Часовая производительность пресса по тесту, кг,

$$G_{np} = G_{cu} \frac{100 - W_n}{100 - W_m}$$

где G_{cu} – производительность пресса по сухим изделиям, кг/ч;

W_m – влажность теста, % (принимают равной от 30 % до 32 %).

Количество воды, идущей на замес теста, л/ч,

$$B_{уз} = M_u \frac{W_m - W_m}{100 - W_m}.$$

Частота вращения шнека, мин^{-1} ,

$$n_{ш} = \frac{4G_{np}}{mk \left(R_2^2 - R_1^2 \right) \left(S - \frac{b_1 + b_2}{2 \cos a} \right) r K_H K_M K_C}.$$

где m – число заходов шнека (равно 1);

k – число шнеков (равно 1);

R_2 – наружный радиус шнека, м;

R_1 – внутренний радиус шнека, м;

S – шаг винтовой лопасти шнека, м;

b_1 – ширина винтовой лопасти шнека в нормальном сечении по внутреннему радиусу, м;

b_2 – ширина винтовой лопасти шнека в нормальном сечении по наружному радиусу, м;

a – угол подъема винтовой линии на среднем диаметре лопасти (от 30° до 35°);

r – плотность теста, кг/м^3 ;

K_H – коэффициент заполнения полости тестом ($K_H = 0,9$);

K_M – коэффициент прессования ($K_M = 0,56$);

K_C – коэффициент, учитывающий степень уменьшения подачи теста в зависимости от его физико-механических свойств ($K_C = 0,93$).

Частота вращения ротора вакуум-затвора, мин^{-1} ,

$$n_3 = M_u / (r V m k),$$

где r – плотность муки, кг/м^3 ($r = 550 \text{ кг/м}^3$);

V – вместимость кармана вакуум-затвора, м^3 (принимают равной 0,01);

m – число карманов ($m = 2$);

k – коэффициент заполнения карманов ($k = 0,8$).

Мощность, необходимую для вращения ротора вакуум-затвора (кВт), можно определить по формуле потребной мощности для барабанного дозатора:

$$N = \frac{P_m v}{1000h} K_n,$$

где P_m – сила трения муки в карманах о вышележащие слои, Н;

v – окружная скорость точек, расположенных на образующей поверхности ротора, м/с;

h – КПД механизма привода ($h = 0,98$);

K_n – коэффициент, учитывающий сопротивление трения в подшипниках и трения муки о кожух ротора ($K_n = 2 - 3$).

$$P = pFf,$$

где p – давление муки на уровне поверхности затвора. Па;

F – площадь горизонтального сечения бункера, м² (принимают $F = 0,06$ м²);

f – коэффициент трения муки о муку ($f = 0,6 - 0,7$).

$$p = \frac{r R}{f K_n},$$

где R – гидравлический радиус выпускного отверстия, м.

$$R = F/S,$$

где S – периметр горизонтального сечения отверстия, м (принимают размеры сечения 0,18 и 0,36 м).

$$P_m = pF^2 / (SK_n);$$

$$v = \pi d n_3 / 60$$

Для смешивания компонентов и выпрессовывания теста через матрицы затрачивается значительная энергия (общая мощность привода 17 кВт).

Задание. Рассчитать основные технологические параметры макаронного прессы. Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Варианты индивидуальных заданий

Вариант	G_{np} , кг/ч	R_2 , мм	R_1 , мм	S , мм	b_1 , мм	b_2 , мм	ρ , кг/м ³
1	275	45	30	85	20,0	5,5	1145
2	280	46	31	86	20,5	5,6	1150
3	285	47	32	87	21,0	5,7	1155
4	290	48	33	88	21,5	5,8	1160
5	295	49	34	89	22,0	5,9	1165
6	300	50	35	90	22,5	6,0	1170
7	305	51	36	91	23,0	6,1	1175
8	310	52	37	92	23,5	6,2	1180
9	315	53	38	93	24,0	6,3	1185
10	320	54	39	94	24,5	6,4	1190
11	325	55	40	95	25,0	6,5	1195
12	330	56	41	96	25,5	6,6	1200
13	335	57	42	97	26,0	6,7	1195
14	340	58	43	98	26,5	6,8	1190
15	345	59	44	99	27,0	6,9	1185

Контрольные вопросы и задания. 1. Назовите этапы приготовления макаронного теста. 2. Что такое вакуумирование теста, где и как оно осуществляется? 3. Чем конструктивно различаются макаронные прессы? 4. Каковы устройство и принцип работы макаронного прессы ЛПЛ-2М?

5.2 Практическое занятие № 2

Расчет экструдера

Цель работы: изучение теоретических основ процесса экструзии; знакомство с классификацией экструдеров, их конструкциями и принципом работы; выполнение расчета экструдера.

5.2.1 Теоретические сведения

Экструдерами называются машины, осуществляющие выдавливание жгутов перерабатываемой массы через формующие отверстия матрицы. Формование экструзией имеет ряд преимуществ: непрерывность и высокая скорость процесса, безотходность технологии и высокая культура производства.

В различных отраслях пищевой промышленности они нашли широкое применение: в кондитерской – для формования корпусов конфет из пралиновых масс, в мясной – при производстве колбас, в молочной – для дозировки и формования сливочного масла и творога, в хлебопекарной – как основная часть многих тестоотделителей.

Конструкция экструдеров разнообразна. Но все они имеют формующий элемент – матрицу, которая формой и размерами отверстий определяет поперечное сечение экструдированного жгута, и нагнетатель, который должен создать в экструдированной массе необходимое давление для того, чтобы вызвать ее течение через отверстия матрицы с желаемой скоростью. В зависимости от формы поперечного сечения отверстия в матрице бывают круглые, прямоугольные, конусные, квадратные, ромбические и сложной конфигурации. Сложные отверстия с вкладышами применяются при формировании полых изделий.

Материал для матриц должен быть коррозионностойким, обладать антиадгезионными свойствами и высокой прочностью. Чтобы снизить прилипаемость формируемого продукта, отверстия полируют и хромируют. Широко применяют в настоящее время матрицы, состоящие из металлической обоймы и сменных вставок. Вставки представляют собой сменные гильзы с формующими отверстиями, изготавливаются из пластмасс с сильно выраженными антиадгезионными свойствами.

Форма и размер предматричной камеры зависят от свойств перерабатываемого продукта, типа и размеров нагнетающего механизма и должны способ-

ствовать выходу выпрессовываемой массы из каналов матрицы с возможно более равномерной скоростью, и препятствовать образованию застойных зон.

В зависимости от конструкции нагнетателя экструдеры классифицируются на шнековые, поршневые, валковые, шестеренные, винтовые и комбинированные. Поршневые и валковые экструдеры оказывают щадящее воздействие на перерабатываемый продукт, их используют для формования продукта с нежной консистенцией. Валковые экструдеры применяют в машинах без матриц, шестеренные – для формования однородных и гомогенных материалов в машинах с матрицами.

Производительность шнекового экструдера определяется взаимодействием нагнетателя и формующей головки.

Расходно-напорная характеристика (РНХ) нагнетателя – зависимость создаваемого им расхода материала Q от противодействия Δp на выходе, РНХ формующего органа (матрицы) – это функция расхода через отверстия матрицы от давления в предматричной камере. Расходно-напорная характеристика шнекового нагнетателя должна представлять собой кривую (прямую) отрицательного наклона (рисунок 5.2), так как при отсутствии противодействия в канале производительность нагнетателя максимальна.

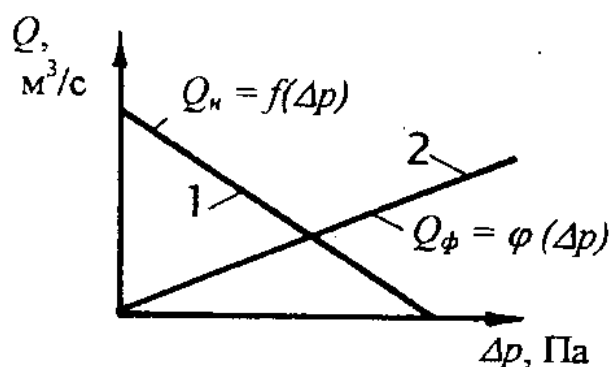
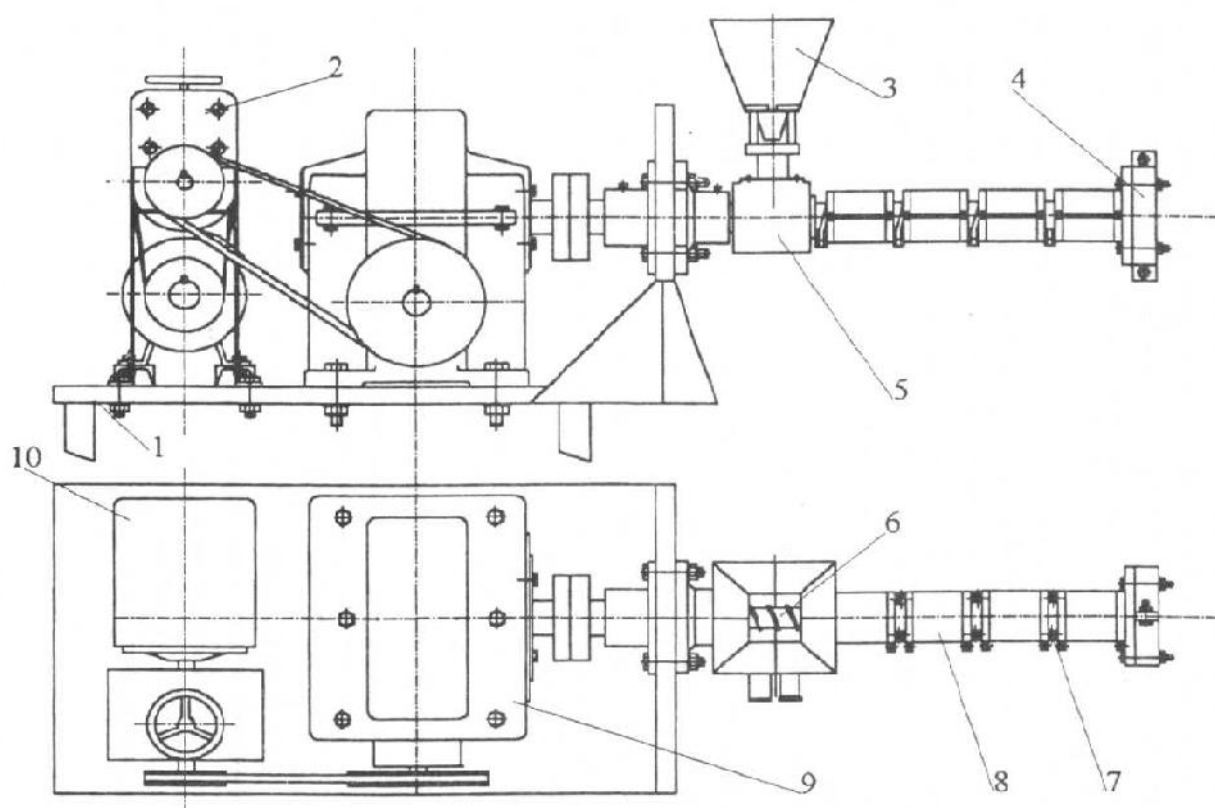


Рисунок 5.2 – Расходно-напорные характеристики нагнетающего и формующего органов экструдера

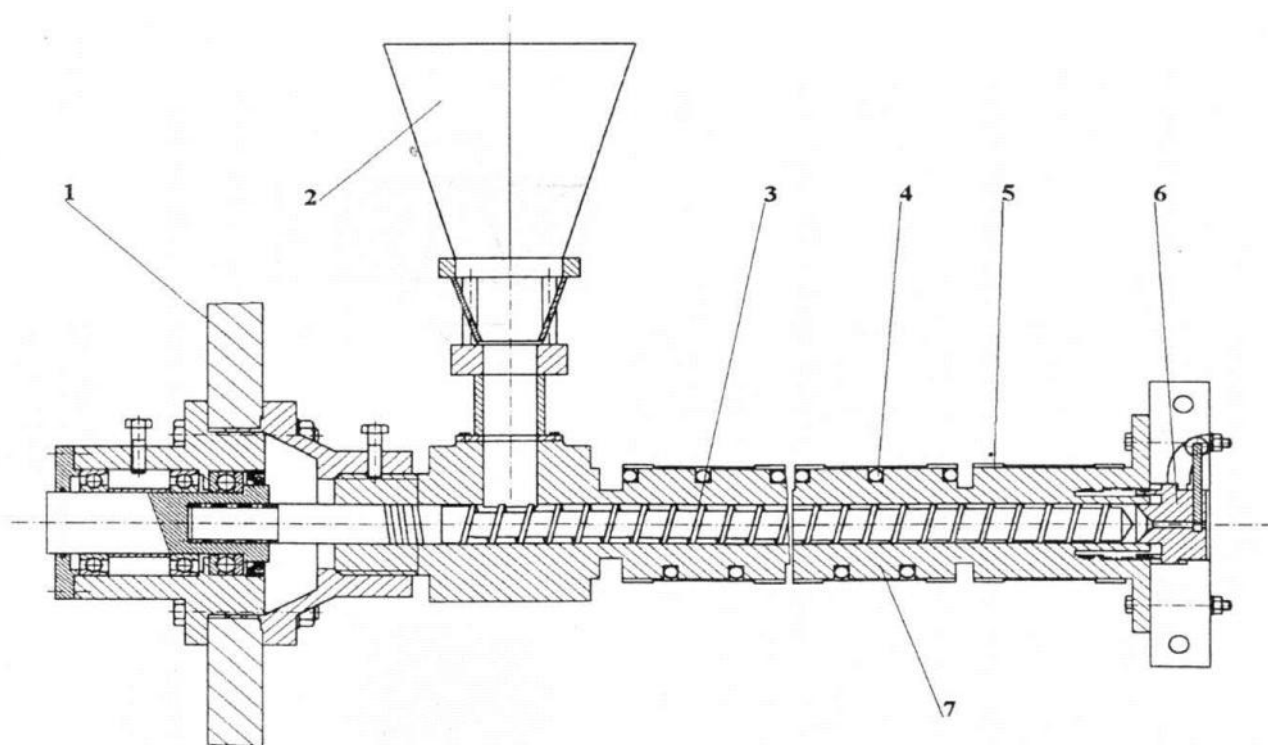
Одношнековый экструдер (рисунок 5.3) состоит из станины 1, привода, загрузочного устройства 5, корпуса 2, шнека 3, нагревательно-охлаждающей системы, матрицы 4.



1 – станина; 2 – вариатор; 3 – загрузочный бункер; 4 – матрица; 5 – корпус; 6 – шнек; 7 – система охлаждения; 8 – электронагреватель; 9 – редуктор; 10 – электродвигатель

Рисунок 5.3 – Одношнековый экструдер

К станине 1 экструдера крепится корпус 2 (рисунок 5.4) с загрузочным бункером 5. На корпусе экструдера установлены электронагреватели 9, которые предназначены для нагрева рабочей зоны машины в период пуска и автоматического поддержания постоянной температуры от 160 °С до 180 °С. Во избежание перегрева машины наружный диаметр корпуса снабжен системой охлаждения 10. Привод экструдера состоит из электродвигателя 6, вариатора 7 и червячного редуктора 8.



1 – станина; 2 – загрузочный бункер; 3 – шнек; 4 – система охлаждения;
5 – электронагреватели; матрица; 6 – матрица; 7 – корпус

Рисунок 5.4 – Корпус экструдера

Перед пуском экструдера его корпус нагревается в течение от 20 до 25 мин до температуры от 160 °С до 180 °С. За время от 25 до 30 мин до пуска экструдера готовится первая порция крупы влажностью от 20 % до 21 %. Подготовленная крупа засыпается в загрузочный бункер 5 при включенной машине. При работе экструдера сырье через загрузочный бункер 5, снабженный задвижкой, поступает в корпус 2 экструдера в межвитковую полость шнека. После выхода палочек из матрицы открывается заслонка и в экструдер поступает крупа влажностью от 12 % до 14 %.

В момент запуска продукт нагревается от корпуса, а в дальнейшем – за счет теплоты, образующейся от трения между продуктом и шнеком.

Выпрессованная полужидкая масса из-за перепада давления при выходе из отверстия формующей матрицы увеличивается по диаметру от 3 до 12 мм.

5.2.2 Методика расчета

Расходно-напорная характеристика формующей части (головки) Q_{ϕ} , м³/с,

$$Q_{\phi} = \frac{k_{\phi}}{\eta} \Delta p \cdot 10^{-9},$$

где k_{ϕ} – коэффициент геометрии формующего органа (матрицы);

η – динамическая вязкость продукта ($\eta = 1,3 \cdot 10^{-6}$ Па·с).

Для кольцевого отверстия k_{ϕ} , м³ (рисунок 5.5, а),

$$k_{\phi} = \frac{(p D + h) h^3 \cdot 10^{-9}}{12 L_1},$$

где D – средний диаметр кольцевого отверстия $D = 2R - h$;

h – ширина кольцевого зазора $h = R - r$.

Для конического отверстия, м³ (рисунок 5.5, б),

$$k_{\phi} = \frac{3p R^3 r^3 (R - r) \cdot 10^{-9}}{8 L_1 (R^3 - r^3)}.$$

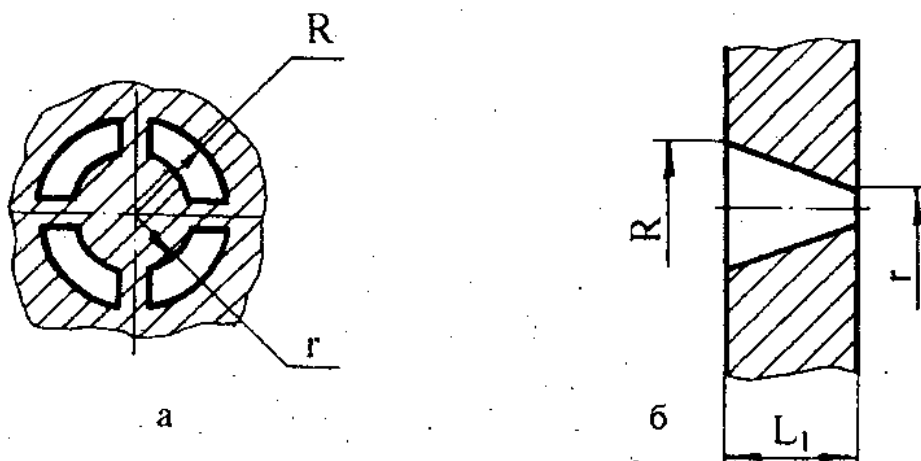


Рисунок 5.5 – Матрица с кольцевым (а) и с коническим (б) отверстием

Для суживающегося или расширяющегося щелевого канала k_{ϕ} , м³

$$k_{\phi} = \frac{B h_1^2 h_2^2 \operatorname{tg} g}{3(h_1^2 - h_2^2)},$$

где B – ширина канала, м ($B = 0,014$ м);

g – угол наклона стенки к осевой плоскости, град ($g = 45^\circ$);

h_1, h_2 – высота крайних сечений, м.

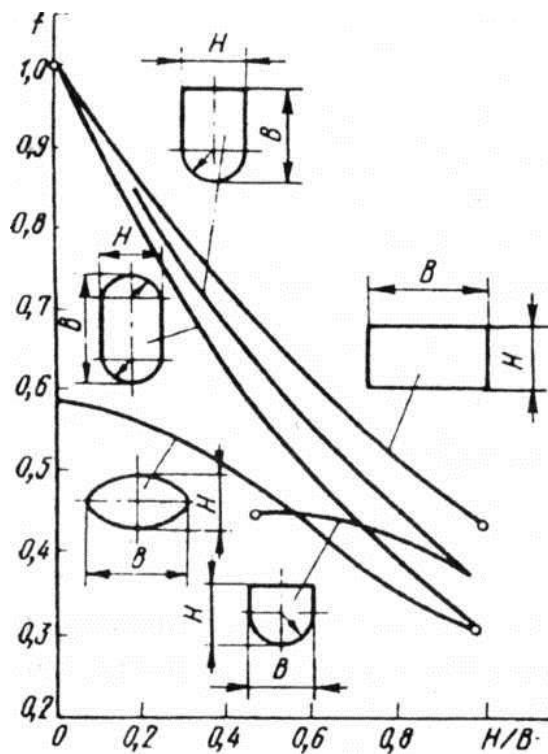
Для некоторых каналов с постоянным по длине сечением, изображенных на рисунке 5.6,

$$k_{\phi} = B H^3 f / (12L),$$

где B и H – соответственно максимальный и минимальный размер сечения, м;

L – длина канала, м;

f – характеристика потока, зависящая от формы и размеров сечения.



1 – прямоугольная; 2 – корытообразная; 3 – овальная; 4 – эллиптическая

Рисунок 5.6 – Диаграммы характеристики потока f каналов различных поперечных сечений

В расчетах из таблицы 5.3 принимается $B = R$ и $H = r$.

Расходно-напорная характеристика нагнетающей части, $\text{м}^3/\text{с}$,

$$Q_H = \left(k_{H1} W - \frac{k_{H2}}{m} \Delta p \right) 10^{-9},$$

где k_{H1} и k_{H2} – коэффициенты геометрии шнекового нагнетателя, м^3 ,

$$k_{H1} = \left(10^{-9} \rho D_K B H \cos j \right) / 2,$$

$$k_{H2} = 10^{-9} B H^3 / (12 L_2),$$

где L_2 – длина шнекового канала,

$$L_2 = 10^{-3} \sqrt{S^2 + [\rho (D_K - H)]^2},$$

где B – ширина шнекового канала ($B = 14$ мм).

Перепад давления, создаваемый экструдером, Δp , Па,

$$\Delta p = \frac{k_{H1}}{k_{H1} + k_{H2}} m W,$$

где W – угловая скорость шнека, рад/с.

Производительность экструдера $Q_э$, $\text{м}^3/\text{с}$,

$$Q_э = \frac{k_{H1} k_\phi}{k_{H1} + k_\phi} W.$$

Построить совмещенные расходно-напорные характеристики нагнетающего и формующего рабочих органов для анализа выбора пары нагнетатель – формующий орган.

По результатам анализа графических зависимостей $Q_H = f(\Delta p)$ и $Q_\phi = f(\Delta p)$ (рисунок 5.2) определить величину оптимального перепада давления и соответствующей производительности экструдера.

Задание: выполнить расчет экструдера, если заданы: m – динамическая вязкость продукта ($m = 1,03 \cdot 10^{-6}$ Па·с); R , r – радиусы сечений отверстий в матрице, мм; L_1 – длина канала в матрице, мм; W – угловая скорость вращения шнека, рад/с; S – шаг шнека, мм; D_k – диаметр внутренней поверхности корпуса, мм; j – угол подъема винтовой линии шнека, град; H – высота шнекового канала, мм.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	R , мм	r , мм	L_1 , мм	Форма отверстий	W , рад/с	S , мм	D_k , мм	j	H , мм	Марка экструдера
1	9,0	3,0	28	Кольцевая	1,0	13	88	19° 27' 44"	12,5	Б8-КХ-3П
2	8,5	3,0	27	Коническая	1,1					
3	8,0	3,1	26	Щелевая	1,1					
4	7,5	3,0	25	Прямоугольная	1,0					
5	9,0	3,5	25	Овальная	1,2					
6	8,5	3,4	26	Эллиптическая	0,9					
7	8,0	3,1	27	Корытообразная	1,3					
8	7,5	3,3	28	Кольцевая	1,2					
9	8,4	3,2	29	Коническая	1,4					
10	8,2	3,0	30	Щелевая	1,3					
11	8,0	2,9	28	Прямоугольная	0,9	16	91	18° 01' 12"	15,5	РЗ-КЭД-88
12	8,1	3,0	27	Овальная	1,3					
13	8,2	3,1	26	Эллиптическая	1,1					
14	8,3	3,2	25	Корытообразная	1,2					
15	8,4	3,3	28	Кольцевая	1,2					
16	8,5	3,4	29	Коническая	1,1					
17	8,6	3,5	30	Щелевая	1,3					
18	8,7	3,5	31	Прямоугольная	1,0					
19	8,8	3,6	30	Овальная	1,3					
20	8,9	3,6	29	Эллиптическая	1,2					
21	9,0	3,7	28	Корытообразная	1,2					
22	8,9	3,2	27	Кольцевая	1,3					
23	8,8	3,3	26	Коническая	1,4					
24	8,7	3,4	28	Щелевая	1,5					
25	8,6	3,1	30	Прямоугольная	1,5					

Контрольные вопросы. 1 Что называется процессом экструзии? 2 В каких отраслях пищевой промышленности применяются экструдеры? 3 Какова классификация экструдеров? 4 Каковы основные конструктивные факторы, влияющие на эффективность процесса экструзии? 5 Каково устройство и принцип работы экструдера? 6 Какие требования предъявляются к материалу матриц экструдера? 7 В чем заключается сущность анализа расходно-напорных характеристик шнекового нагнетателя и матрицы?

6 Оборудование для проведения тепловых процессов

6.1 Практическое занятие № 1

Расчет автоклава

Цель работы: изучение теоретических основ процесса стерилизации; знакомство с классификацией, устройством и принципом действия автоклавов; выполнение расчета автоклава.

6.1.1 Теоретические сведения

Для прекращения жизнедеятельности микроорганизмов в продукте и создания условий для его длительного хранения он подвергается тепловой обработке при температуре до 100 °С (пастеризации) или при температуре выше 100 °С (стерилизации).

Продолжительность и температура тепловой обработки устанавливаются в зависимости от консистенции продукта, его физических свойств (удельная теплоемкость, динамическая вязкость, удельная теплопроводность), вида микроорганизмов и их спор, кислотности, материала и размера тары, начальной температуры продукта, химического состава консервов,

температуры пара или воды в автоклаве, условий проникновения теплоты и др.

Режим стерилизации определяется временем прогревания консервов до температуры стерилизации и продолжительностью выдерживания консервов при этой температуре (так называемое летальное для микроорганизмов время).

При нагреве продукта в течение времени t_1 внутри банки увеличивается давление. Повышение температуры продукта и банки при стерилизации консервов приводит к увеличению давления в последней. Разность между давлениями по обе стороны стенки банки может достичь таких значений, при которых происходят деформация или нарушение герметичности жестяных банок, срыв крышек со стеклянных банок.

Чтобы в период стерилизации и, особенно во время охлаждения давление в банке не превышало допустимое, создают искусственное противодействие с наружной стороны банки (в аппарате) при помощи сжатого воздуха или воды. Противодействие может быть определено лишь в том случае, если известно давление в банке во время стерилизации, которое зависит от следующих факторов: температуры продукта при закатывании и стерилизации; давления в пространстве, не заполненном продуктом при закатывании банки; степени наполнения банки продуктом; теплового расширения продукта и банки; изменения объема банки вследствие выгиба концов; выделения газов из продукта; набухания коллоидных частиц.

Давление насыщенных водяных паров обуславливается температурой продукта, заполняющего банку. При повышении температуры оно увеличивается и во время стерилизации достигает в отдельных случаях от 0,3 до 0,4 МПа.

Большую опасность представляет уменьшение объема незаполненного пространства в банке вследствие деформации крышки (прогиба внутрь банки) под действием большого противодействия извне. Значительно увеличи-

вается внутреннее давление, способное затем в конце стерилизации и при переходе к охлаждению сорвать крышку.

В банках, закупоренных крышками, снабженными односторонними клапанами, не требуется при стерилизации создавать противодействие. Объясняется это тем, что во время стерилизации давление в банке почти всегда равно давлению в автоклаве вследствие выхода из банки смеси пара и воздуха. При последующем охлаждении в таких банках образуется значительный вакуум.

Консервы, имеющие повышенную кислотность (компоты, соки и др.), подвергают стерилизации при температуре 100 °С в кипящей воде в аппаратах, работающих при атмосферном давлении.

Овощные закусочные, рыбные и мясные консервы стерилизуют при температуре от 110 °С до 120 °С в аппаратах, работающих под давлением выше атмосферного. Стерилизация под давлением при температуре, превышающей 100 °С, проводится в водяном паре без противодействия и с воздушным противодействием или в воде с воздушным либо водяным противодействием.

Снижение давления в автоклаве приводит к срыву крышек или деформации банок, поэтому на всех трубопроводах, по которым поступают пар, вода или воздух, устанавливают обратные клапаны между автоклавом и вентилем. На коммуникации автоклава устанавливают только паровые вентили.

Охлаждение консервов, в особенности в стеклянной таре, является одним из самых ответственных процессов. Термостойкость стекла при охлаждении значительно ниже, чем при нагреве, поэтому наружные слои стенки стеклянной банки испытывают сжимающие усилия, в то время как при охлаждении в них возникают растягивающие усилия.

Режим стерилизации в аппаратах условно записывают выражением

$$\frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_c},$$

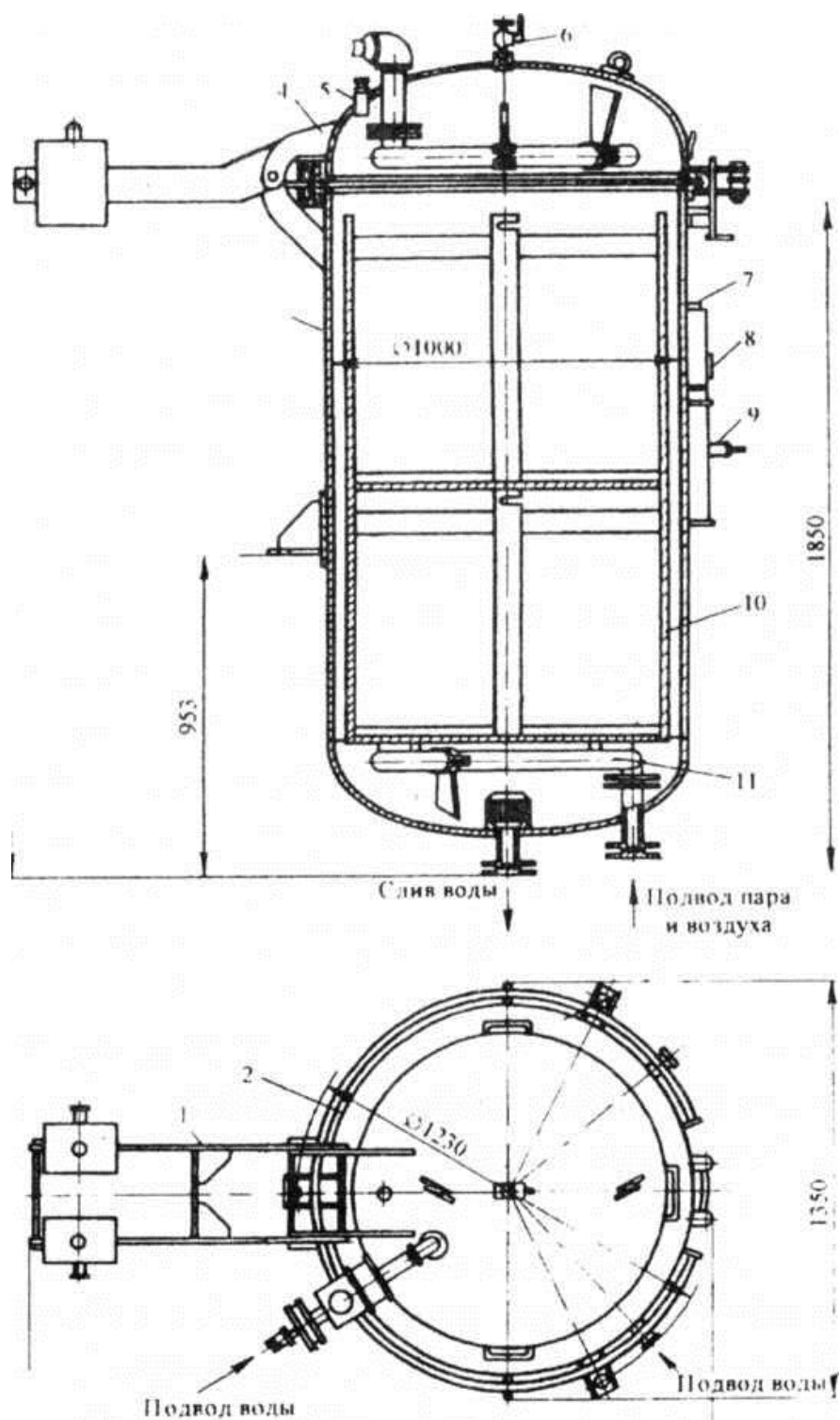
где t_1 , t_2 , t_3 – соответственно время нагрева банок до температуры стерилизации t_c , °C; время стерилизации и время для снижения давления и температуры в автоклаве, мин.

В зависимости от режима стерилизации аппараты бывают периодически и непрерывно действующие, работающие при атмосферном давлении и выше.

Автоклавы изготовляют двух типов: вертикальные и горизонтальные. Горизонтальные автоклавы применяют для стерилизации консервов в жестяной таре, вертикальные – для консервов, как в жестяной, так и в стеклянной таре, поэтому они получили широкое распространение на консервных заводах.

Автоклав (рисунок 6.1) имеет корпус 3, крышку 4, корзины 10, программный регулятор 9 и арматуру для подключения к магистралям пара, воды, воздуха и для спуска конденсата. Сварной корпус автоклава состоит из двух цилиндрических обечаек толщиной 6 мм и днища толщиной 8 мм. На корпусе установлены манометр 8, термометр 7 и датчики программного регулятора. Внизу корпуса расположены паровой барботер 11 и сливной патрубок со стаканом.

Фланцы крышки и корпуса прижимаются один к другому с помощью быстродействующего поясного зажима 2, состоящего из пятнадцати секторных захватов, укрепленных на кольце из пружинной стали, и рычажной системы для стягивания и разведения поясного зажима. На крышке имеются штуцеры для предохранительного клапана 5 и пробно-спускного крана 6. Крышка имеет уравнивающее устройство 1, облегчающее ее открывание и закрывание.



1 – уравнивающее устройство; 2 – поясной зажим; 3 – корпус; 4 – крышка;
 5 – предохранительный клапан; 6 – пробно-спускной кран; 7 – термометр; 8 –
 манометр; 9 – программный регулятор; 10 – корзины; 11 – паровой барботер

Рисунок 6.1 – Автоклав

Регулятор стерилизации предназначен для автоматизации процесса стерилизации с воздушным противодавлением по заданной программе.

Наполненные банками корзины устанавливаются в аппарат одна на другую и крышка закрывается. Сосуд наполняется водой, а через имеющийся внизу барботер подается пар. Воздушным компрессором поддерживается постоянное давление в системе. По истечении времени, необходимого для стерилизации, пар и горячая вода вытесняются из аппарата поступающей холодной водой. После охлаждения корзины с банками выгружаются из аппарата.

Характеристики автоклавов приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Параметры автоклавов

Показатель	Б6-КАВ-2	Б6-КАВ-4
Объем автоклава, л	1570	2750
Внутренний диаметр, мм	1000	1000
Рабочее избыточное давление в автоклаве, МПа	0,35	0,35
Число погружаемых корзин	2	4
Габаритные размеры, мм:		
ширина	1350	1350
длина	2200	2200
высота		
с закрытой крышкой	2750	4200
с открытой крышкой	3350	5000
Масса, кг	2370	3534

6.1.2 Методика расчета

Количество банок, вмещаемых одной сеткой,

$$z = 0,785ad_c^2 / d_a^2,$$

где $a = h_c / h_b$ – отношение высоты сетки к высоте банки (ближайшее целое меньшее число);

h_c и h_b – высота сетки ($h_c = 0,700$ м) и высота банки, м (таблица 6.2);

d_c – диаметр сетки автоклава, м ($d_c = 0,94$ м);

d_6 – наружный диаметр банки, м (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Основные параметры банки

Условное обозначение	Вместимость, дм ³	Масса m_6 , кг	Высота h_6 , м	Диаметр d_6 , м
№ 8	0,346	0,140	0,0518	0,1023
№ 9	0,375	0,164	0,0968	0,0761
СКО 83-5	0,350	0,225	0,0760	0,0950
СКО 83-1	0,500	0,270	0,1060	0,0950
СКО 83-2	1,000	0,430	0,1500	0,1100

Время наполнения банками одной сетки, с,

$$t_c = z/\Pi .$$

Число сеток, загруженных в один автоклав

$$z_c = t_\partial / t_c ,$$

где t_∂ – максимальная продолжительность выдержки (накопления) банок до их стерилизации после укупоривания (обычно $t_\partial < 1800$ с).

Число сеток z_c округляют до ближайшего целого меньшего числа.

Число банок, загружаемых в автоклав,

$$N_6 = z_c z .$$

Продолжительность полного цикла работы автоклава, с,

$$t = t_0 + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 ,$$

где t_0, t_1, t_2, t_3, t_4 – соответственно время загрузки автоклава (в расчете $t_0 = t_4 = 15 - 25$ мин), повышения температуры, собственно стерилизации, снижения давления, температуры в автоклаве и охлаждения банок, разгрузки автоклава, мин (таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Режимы стерилизации для различных банок

Условное обозначение банки	Режимы стерилизации, мин, при температуре t_c , °C			Противодавление, МПа
	113	115	120	
№8	20-80-20	-	20-60-20	-
№9	20-90-20	-	20-40-25	-
СКО 83-5	-	35-135-50	40-140-55	0,25
СКО 83-1	-	25-115-30	25-75-30	0,25
СКО 83-2	-	30-125-40	30-100-40	0,25

Производительность одного автоклава, банок/с,

$$П_a = N_{\sigma} / t .$$

Тепловой расчет автоклава устанавливает расход пара на стерилизацию и расход охлаждающей воды. Расход пара за цикл работы автоклава находят отдельно для первого периода, когда температура в автоклаве повышается до температуры стерилизации, и для второго периода, когда в автоклаве поддерживается постоянная температура стерилизации.

В первый период работы автоклава тепловая энергия затрачивается на нагрев аппарата, сеток, банок, крышек, продукта и воды (при стерилизации в воде) и на компенсацию потерь теплоты в окружающую среду путем лучеиспускания и конвекции.

Расход теплоты на нагрев автоклава, Дж,

$$Q_1 = G_1 c_1 (t_c - t_1),$$

где G_1 – масса автоклава, кг;

c_1 – удельная теплоемкость стали, $c_1 = 482$ Дж/(кг·К);

t_c – температура стерилизации, °C (таблица 6.3);

t_1 – начальная температура автоклава, °C ($t_1 = 18$ °C).

Расход теплоты на нагрев сеток, Дж,

$$Q_2 = G_2 c_1 (t_c - t_2),$$

где G_2 – масса сеток, кг;

t_2 – температура сетки, °C ($t_2 = 19$ °C);

$$G_2 = z_c m_c,$$

где m_c – масса одной сетки, $m_c = 50$ кг.

Расход теплоты на нагрев банок, Дж,

$$Q_3 = G_3 c_3 (t_c - t_3),$$

где G_3 – масса банок, кг,

$$G_3 = \Pi_6 m_6,$$

где Π_6 – число банок, загружаемых в автоклав;

m_6 – масса одной банки, кг (таблица 6.2);

c_3 – удельная теплоемкость материала тары, Дж/(кг·К);

для стеклянных банок – $c_3 = 670 - 835$ Дж/(кг·К) и для жестяных банок

№ 8 и № 9 – $c_3 = 482$ Дж/(кг·К);

t_3 – начальная температура банок, °C (принимается такой же, как температура продукта).

Расход теплоты на нагрев продукта в автоклаве, Дж,

$$Q_4 = G_4 c_4 (t_c - t_4),$$

где G_4 – масса продукта, кг;

$$G_4 = \rho_{np} V_6 \Pi_6,$$

где ρ_{np} – плотность продукта, кг/м³ (таблица 6.4);

V_6 – объем одной банки, м³ (таблица 6.1);

Π_6 – число банок, загружаемых в автоклав;

c_4 – удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг·К) (таблица 6.4);

t_4 – температура продукта, °C ($t_4 = 25$ °C).

Таблица 6.4 – Параметры обрабатываемого сырья

Наименование	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	Плотность, кг/м ³
Свинина	3865	1130
Говядина	4007	1038
Рыба	3601 – 4145	1050
Молоко сгущенное	2261	1240

Расход теплоты на нагрев воды в автоклаве, Дж,

$$Q_5 = G_5 c (t_c - t_5),$$

где G_5 – масса воды в автоклаве, кг;

$$G_5 = 0,95 r_v (V_a - V_b \Pi_b),$$

где r_v – плотность воды, $r_v = 1000$ кг/м³;

V_a – объем автоклава, м³;

c – удельная теплоемкость воды, $c = 4186$ Дж/(кг·К);

t_5 – начальная температура воды в автоклаве ($t_5 = 20$ °С).

Потери теплоты в окружающую среду Q_6 , Дж, принимают обычно равными 5 % от общего расхода теплоты $Q_{общ}$, Дж,

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6.$$

Расход пара в первый период работы автоклава, кг/с,

$$D_1 = Q_{общ} / (i - i_k),$$

где i – энтальпия пара, $i = 2700000$ Дж/кг;

i_k – энтальпия конденсата, Дж/кг,

$$i_k = c_v t_{конд},$$

где c_v – удельная теплоемкость воды, $c_v = 4186$ Дж/(кг·К);

$t_{конд}$ – температура конденсата, $t_{конд} = 96 - 98$ °С.

Интенсивность расхода пара в первый период работы, или расход пара в единицу времени, кг/с,

$$D'_4 = D_1/t_2.$$

Во второй период работы автоклава (при постоянной температуре стерилизации) тепловая энергия расходуется на компенсацию потерь теплоты в окружающую среду путем конвекции и лучеиспускания, Дж,

$$Q_7 = F_2 t_2 a_0 (t'_{cm} - t_g),$$

где F_2 – площадь поверхности автоклава, м²;

t_2 – продолжительность собственно стерилизации, с (таблица 6.3);

a_0 – суммарный коэффициент теплоотдачи, $a_0 = 1750$ Вт/(м²·К);

t'_{cm} – температура стенки во второй период работы, °С ($t'_{cm} = 30$ °С).

Расход пара, кг,

$$D_2 = Q_7 / (i - i_k),$$

или расход пара в единицу времени, кг/с,

$$D''_4 = D_2/t_2.$$

Общий расход пара за один цикл работы автоклава, кг,

$$D = D_1 + D_2.$$

Общая масса автоклава, сеток, банок и воды, кг,

$$G'' = G_1 + G_2 + G_3 + G_5,$$

где G_1, G_2, G_3, G_5 – соответственно масса автоклава, сеток, банок и воды, кг.

Приведенная теплоемкость массы G'' , Дж/(кг·К),

$$c_{np} = (G_1 c_1 + G_2 c_2 + G_3 c_3 + G_5 c) / G'',$$

где c_1, c_2, c_3 – соответственно удельная теплоемкость материалов автоклава, сеток и банок, Дж/(кг·К);

c – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К).

Конечная температура автоклава, сеток, банок и воды, °С,

$$t'_k = t_k - (5 - 7),$$

где t_k – конечная температура продукта, °С ($t_k = 40 - 50$ °С).

Расход охлаждающей воды, кг/с,

$$W = 2,303 \left(G_4 \frac{c_{np}}{c} \lg \frac{t_c - t_0}{t_k - t_0} + G_4 \frac{c_{np}}{c} \lg \frac{t_c - t_0}{t'_k - t_0} \right),$$

где t_k – конечная температура автоклава, воды в нем, сеток и банок, °С;

Задание: выполнить расчет автоклава, если заданы: тип банки; масса автоклава G_1 , кг; вид продукта; производительность линии Π , банок/с.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	G_1 , кг	Тип банки	Вид продукта	Π , банок/с
1	1150	№8	Свинина	3.0
2	ИЗО	№9	То же	3.1
3	1110	СКО 83-5	-	3.2
4	1170	СКО 83-1	-	3.3
5	1190	СКО 83-2	-	3.4
6	1140	№8	Говядина	4.0
7	1160	№9	То же	4.1
8	1180	СКО 83-5	-	4.2
9	1120	СКО 83-1	-	4.3
10	1750	СКО 83-2	-	4.4
11	1730	№8	Рыба	5.0
12	1710	№9	То же	5.0
13	1790	СКО 83-5	Свинина	5.0
14	1770	СКО 83-1	То же	5.0
15	ИЗО	СКО 83-2	-	5.0
16	1150	№8	Молоко	6.0
17	1140	№9	То же	5.0
18	ИЗО	СКО 83-5	Говядина	3.0
19	1160	СКО 83-1	То же	3.1
20	1750	СКО 83-2	-	3.2
21	1760	№8	Молоко	3.3
22	1740	№9	То же	3.4
23	1720	СКО 83-5	Свинина	4.0
24	1710	СКО 83-1	То же	4.2
25	1770	СКО 83-2	-	4.3

Контрольные вопросы. 1 Что называется стерилизацией? 2 Что называется пастеризацией? 3 Чем определяется продолжительность стерилизации? 4 Какова структура формулы стерилизации? 5 Какие виды оборудования применяются в промышленности для стерилизации? 6 Каково устройство и принцип действия автоклава? 7 В чем состоит сущность работы автоклава с противодавлением? 8 Каков порядок охлаждения консервов в автоклавах перед выгрузкой?

7 Оборудование для проведения массообменных процессов

7.1 Практическое занятие № 1

Расчет брагоректификационного аппарата

Цель работы: изучение теоретических основ процесса перегонки; знакомство с классификацией брагоперегонных, ректификационных и брагоректификационных аппаратов, их конструкциями и принципом работы; выполнение расчета аппарата.

7.1.1 Теоретические сведения

При получении пищевого этанола (этилового спирта) брожением перегонка и ректификация являются завершающими этапами технологической схемы спиртового производства. Под перегонкой в спиртовом производстве понимают процесс выделения из зрелой бражки этилового спирта вместе с содержащимися в ней летучими примесями. При этом в результате перегонки получается спирт-сырец. Под ректификацией понимают очистку спирта-сырца от примесей и получение спирта-сырца-ректификата высшей очистки. Чаще всего оба эти процесса технологически совмещены и осуществляются на непрерывнодействующих брагоректификационных аппаратах. Спирт-сырец, получаемый

после перегонки бражки, содержит примеси; в нем обнаружено до 50 различных веществ. По химическому характеру они могут быть в основном разделены на четыре большие группы: спирты, альдегиды, эфиры и кислоты.

В системе этанол-вода оба компонента летучи, и поэтому в паровой фазе всегда будет присутствовать как этанол, так и вода. Согласно законам перегонки, в этой фазе относительное количество этанола будет больше, чем воды, до тех пор, пока массовая доля этанола в жидкой фазе не достигнет 95,57 %. При такой массовой доле водно-спиртовые пары при атмосферном давлении имеют тот же состав, что и жидкость. Водно-спиртовой раствор этого состава получил название азеотропного или нераздельнокипящего. При дальнейшем увеличении массовой доли этанола в жидкой фазе количество спирта в парах будет увеличиваться. При расчете в области ректификации весьма часто возникает необходимость в пересчете состава, заданного в массовых долях (% мас), в мольные доли (% моль) и наоборот (рисунок 7.1).

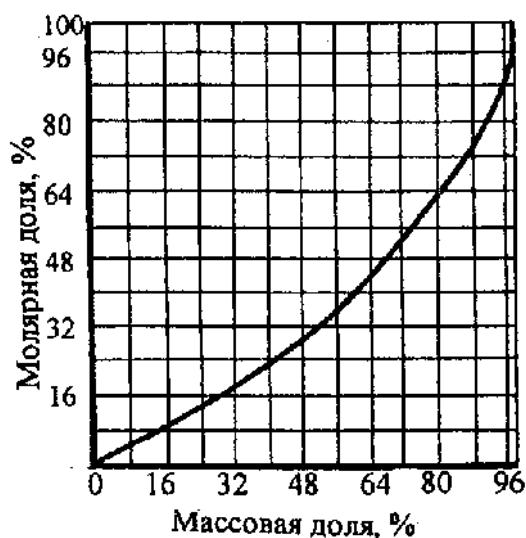


Рисунок 7.1 – График для перехода от молярных долей к массовым

На рисунке 7.2 представлена кривая равновесия, построенная на основании таблицы равновесия, из которого видно, что азеотропная смесь соответствует точке пересечения диагонали графика и кривой равновесия.

С точки зрения очистки этанола от примесей они делятся на три группы (таблица 7.1): головные; хвостовые и промежуточные.

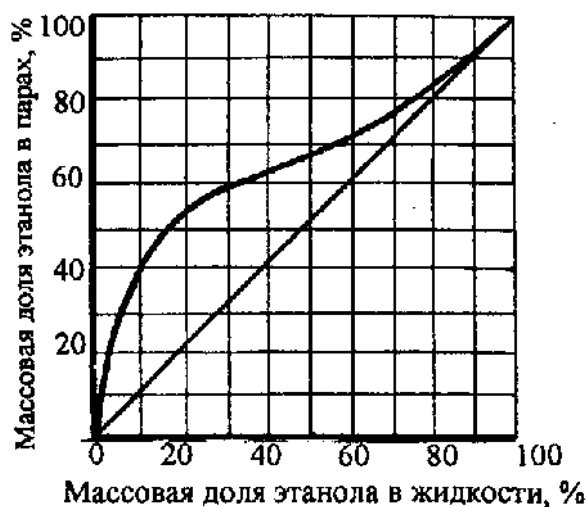


Рисунок 7.2 – Кривая равновесия системы этанол-вода при атмосферном давлении

Головными примесями называют те, которые более летучи, чем этанол. Температура кипения их ниже температуры кипения этилового спирта. К ним относятся уксусный альдегид, уксусноэтиловый эфир, муравьиноэтиловый эфир, уксуснометиловый эфир.

Таблица 7.1 – Состав и выход продуктов

Наименование продукта	% об.	% мас.	% моль	Выход к общему количеству этанола в бражке, % мас.
Спирт высшей очистки	96,200	94,130	86,250	96,5
Сивушные масла	88,000	83,100	66,000	0,4
Эфирно-альдегидная фракция	95,500	93,100	84,000	2,5
Нестандартный спирт	96,200	94,100	86,250	3,0
Барда	0,012	0,010	0,004	-
Лютерная вода	0,006	0,005	0,002	-

Хвостовые примеси имеют более высокую температуру кипения, чем этанол, и меньшую летучесть. К ним относятся многоатомные спирты, главным образом амиловый, изоамиловый, изобутиловый, пропиловый, изопропиловый. Часть хвостовых примесей нерастворима в воде и имеет маслянистый вид, поэтому их называют сивушными маслами.

Промежуточные продукты представляют собой группу примесей, которые в зависимости от условий перегонки ведут себя то как головные, то как хвостовые примеси. В эту группу входят изо-масляноэтиловый и изовалериано-этиловый эфиры.

Для характеристики примесей на практике применяют коэффициенты испарения K и ректификации K .

Коэффициентом испарения K называется отношение содержания летучего компонента в парах к его содержанию в жидкости.

Для этилового спирта

$$K_{cn} = A/a,$$

где A – массовая доля этанола в парах, %;

a – массовая доля его в жидкости, % мас.

Соответственно, если для какой-либо примеси содержание в парах и в жидкости a и b , то коэффициент испарения примеси

$$K_{np} = a/b.$$

Коэффициентом ректификации K называется отношение коэффициента испарения примеси K_{np} к коэффициенту испарения этилового спирта K_{cn}

$$K = K_{np} / K_{cn}.$$

Принято считать, что если $K > 1$, то примесь головная. Если $K < 1$, то она хвостовая. Если же примесь при некоторых условиях имеет коэффициент $K = 1$, то она относится к группе промежуточных.

Брагоректификационные аппараты являются основным видом оборудования для выделения спирта и примесей из бражки. Более 95 % спирта-

ректификата на спиртовых заводах получают на брагоректификационных аппаратах, косвенного, прямого и полупрямого действия. Бражка в этих установках разделяется на спирт-ректификат, эфиральдегидную фракцию, сивушные масла и барду. В них же отбирают промежуточные продукты (таблица 7.1).

Основные колонны каждого брагоректификационного аппарата – бражная, элюационная и ректификационная. В бражной происходит перегонка бражки и получение спирта-сырца, элюационная предназначена для выделения головных примесей, в ректификационной происходит выделение из элюатора чистого спирта-ректификата, концентрированных сивушных масел и воды.

Рабочим элементом в колоннах являются контактные устройства (тарелки) разной конструкции в зависимости от их назначения и производительности.

В бражных колоннах брагоректификационных аппаратов применяются тарелки двух типов: двойной выварки и ситчатые. В элюационных, ректификационных колоннах используют многоколпачковые тарелки с капсульными колпачками. Живое сечение их составляет от 11 % до 13 %. Количество тарелок в колоннах в соответствии с их назначением колеблется: в бражной – от 30 до 32 тарелок, в элюационной – от 35 до 39, в ректификационной – от 66 до 70 тарелок.

При перегонке и ректификации спирта поднимающийся вверх пар непрерывно контактирует с потоком стекающей жидкости (флегмой) и конденсируется. При этом жидкая фаза обогащается нижекипящим компонентом. За счет выделяющейся теплоты конденсации испаряется жидкость на тарелке. Выделяющийся пар будет содержать уже больший процент нижекипящего компонента, чем тот пар, который первоначально сконденсировался. Движущей силой процесса ректификации является разность температур между стекающей вниз по колонне флегмой и поднимающимися вверх парами.

Брагоректификационный аппарат косвенного действия (рисунок 7.3) состоит из бражной, элюационной и ректификационной колонн, дефлегматоров и конденсаторов, а также приборов, которые контролируют и регулируют технологический и температурный режим колонны.

Декарбонизированная бражка из сепаратора подается на питательную тарелку бражной колонны. Барда отводится из нижней части бражной колонны через бардяной регулятор. Из подогревателя бражки несконденсировавшиеся пары поступают в дополнительный вертикальный конденсатор. Бражная колонна обогревается открытым паром давлением от 0,12 МПа до 0,15 МПа, подача которого регулируется паровым регулятором.

Конденсат водно-спиртовых паров в виде дистиллята направляется в элюационную колонну, имеющую горизонтальный дефлегматор и вертикально установленный конденсатор, которые охлаждают водой. Головные примеси из конденсатора поступают в холодильник, а далее через ротаметр – в фонарь. Освобожденный от основной части головных примесей водно-спиртовой раствор (элюрат) направляется в ректификационную колонну на 16-ю тарелку. Эта колонна снабжена дефлегматором и конденсатором. Из последнего часть конденсата (нестандартный или непастеризованный спирт) возвращается в элюационную колонну. Массовая доля его составляет около 3 % от введенного в колонну безводного спирта. Другая часть нестандартного спирта присоединяется к флегме, поступающей из дефлегматора в ректификационную колонну аппарата.

Спирт-ректификат отбирается со 2, 4 и 6-й верхних тарелок и поступает далее в холодильник, откуда через ротаметр направляется в фонарь.

Сивушное масло выводится из нижней части колонны в виде паров и направляется в холодильник, затем удаляется через фонарь из аппарата.

В ректификационной колонне из жидкой фазы с 17, 18, 19 и 20-й нижних тарелок отбираются промежуточные продукты (сивушные спирты), которые направляются затем в холодильник и удаляются из колонны через фонарь. Из нижней части ректификационной колонны отводится лютерная вода, в которой наличие спирта не допускается. Все колонны аппарата снабжаются вакуум-прерывателями для предохранения от смятия. Из дефлегматоров вода температурой от 60 °С до 70 °С поступает в сборник горячей воды, из которого ее расходуют на производственные нужды. Пары, несконденсированные в конденсаторах, и инертные газы поступают в спиртоловушку.

Спирт-ректификат, отбираемый из колонны, с массовой долей не более 95,57 % подают для хранения в вертикальные цилиндрические резервуары.

7.1.2 Методика расчета

Бражная колонна. Количество теплоты Q_H , затрачиваемое на подогрев 100 кг бражки до температуры кипения, кДж,

$$Q_H = 100(t_{kun} - t_{бр})c_{бр},$$

где t_{kun} – температура кипения водно-спиртовой смеси, имеющей массовую долю, равную массовой доле этанола в бражке, °С (таблица 7.2);

$t_{бр}$ – температура бражки, поступающей в бражную колонну, °С;

$c_{бр}$ – удельная теплоемкость бражки, кДж/(кг·К),

$$c_{бр} = 4,266 - 0,040B_{бр},$$

где $B_{бр}$ – массовая доля сухих веществ в бражке, %.

Зная Q_H , определяем массовую долю этанола (крепость) в кипящей бражке $A'_{бр}$, %, на питательной тарелке (рисунок 7.4).

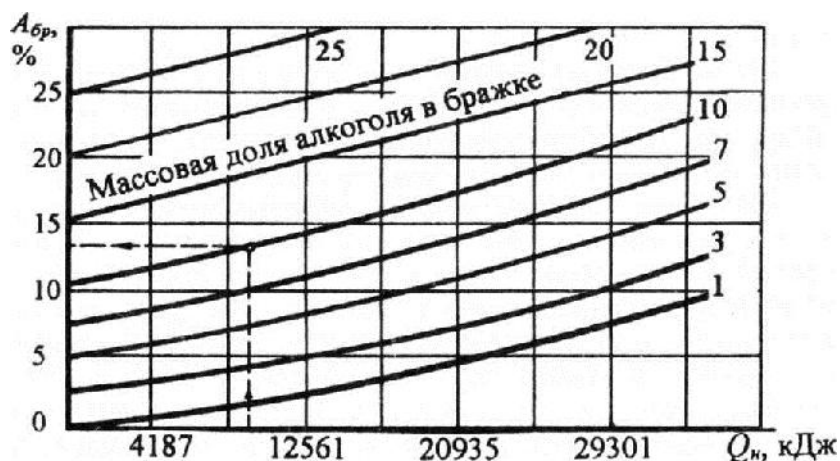


Рисунок 7.4 – График для определения крепости кипящей бражки на питательной тарелке

Количество алкоголя $G_{ал}$, кг/ч, поступающее в аппарат с бражкой,

$$G_{ал} = \Pi r_{cn} / 24,$$

где Π – суточная производительность спиртового завода, дал/сут.;

r_{cn} – плотность этанола, кг/м³ ($r_{cn} = 789$ кг/м³).

Массовое количество бражки $M_{бр}$, кг/ч, поступающей на перегонку

$$M_{бр} = 100G_{ал} / X_{бр},$$

где $X_{бр}$ – массовая доля спирта (абсолютного алкоголя) в бражке, %.

Количество водно-спиртового пара G'_{cn} , кг/ч, отходящего из бражной колонны, с учетом массовой доли водно-спиртового пара при массовой доле $A'_{бр}$, поступающего на питательную тарелку колонны (таблицы 7.2), равно

$$G'_{cn} = 100G_{ал} / y_n,$$

где y_n – массовая доля алкоголя в парах, уходящих из бражной колонны, % (таблицы 7.2 и 7.3).

Бражная колонна работает с коэффициентом избытка пара b , тогда все массовое количество пара G'_d , кг/ч, поступающего из бражной колонны,

$$G'_d = b G'_{cn}.$$

Действительная массовая доля этанола в парах y'_d , %,

$$y'_d = G'_{cn} y_n / G'_d.$$

На основе определения количества продуктов, поступающих и удаляемых из бражной колонны, составляется уравнение материального баланса

$$M'_{бр} + P = G'_d + P + B,$$

где P – масса греющего пара и его конденсата, кг;

B – масса барды без конденсата (дистиллята) водно-спиртовых паров, кг.

Уравнение теплового баланса бражной колонны:

$$M_{бр} c_{бр} t_{бр} + P i_1 = G'_d i_d + B c_b t_b + P c_k t_k + Q_n, \quad (7.1)$$

где i_1 – энтальпия греющего пара, кДж/кг, берется из таблицы для сухого насыщенного пара по давлению греющего пара (таблица 7.3);

i_d – энтальпия водно-спиртовых паров, кДж/кг (таблица 7.4);

c_b – удельная теплоемкость барды, кДж/(кг·К), определяется по формуле

$$c = 4,19 - 0,0158B_b,$$

где B_b – массовая доля сухих веществ в барде, %;

t_b – температура барды, °С;

t_k – температура конденсата, °С, $t_k = t_b$;

c_k – удельная теплоемкость конденсата, кДж/(кг·°С);

Q_n – потери теплоты бражной колонной в окружающую среду; кДж/ч.

Для изолированных колонн Q_n берутся из условия 4 % от теплосодержания греющего пара, поступающего в бражную колонну, то есть

$$Q_n = 0,04Pi_1.$$

Тогда из уравнения (7.1) определяется расход греющего пара P , кг/ч, в бражной колонне аппарата

$$P = \frac{G'_d i_d + Bc_b t_b + Q_n - M_{bp} c_{bp} t_{bp}}{0,096i_1 - c_k t_k}.$$

Число тарелок n бражной колонны дает общую высоту аппарата H , м.

Скорость пара W_n , м/с, в колпачковых тарелках вычисляется по формуле

$$W_n = \frac{0,305h}{60 + 0,05h} + 0,012Z,$$

где h – расстояние между тарелками, мм;

Z – глубина барботажного слоя, мм, (от уровня жидкости на тарелке до края колпачка).

Таблица 7.2 – Объемные и массовые доли водно-спиртовых растворов

Содержание спирта в жидкости	Температура кипения, °C	Содержание спирта в парах	Содержание спирта в жидкости	Температура кипения, °C	Содержание спирта в парах	Содержание спирта в жидкости	Температура кипения, °C	Содержание спирта в парах
% мас.		% мас.	% мас.		% мас.	% мас.		% мас.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,10	99,8	1,3	27,00	85,20	69,8	63,00	80,75	80,3
0,15	99,7	1,95	28,00	85,00	70,3	64,00	80,65	80,5
0,20	99,6	2,6	29,00	84,80	70,8	65,00	80,60	80,8
0,30	99,5	3,8	30,00	84,70	71,3	66,00	80,50	81,0
0,40	99,4	4,9	31,00	84,50	72,7	67,00	80,45	81,3
0,50	99,3	6,1	32,00	84,30	72,1	68,00	80,40	81,6
0,60	99,2	7,1	33,00	84,20	72,5	69,00	80,30	81,9
0,70	99,1	8,1	34,00	83,85	72,9	70,00	80,20	82,1
0,80	99,0	9,0	35,00	83,75	73,2	71,00	80,10	82,4
0,90	98,9	9,9	36,00	83,70	73,5	72,00	80,00	82,8
1,00	98,75	10,75	37,00	83,50	73,8	73,00	79,95	83,1
2,00	97,65	19,7	38,00	83,4	74,0	74,00	79,85	83,4
3,00	96,65	27,2	39,00	83,30	74,3	75,00	79,75	83,8
4,00	95,80	33,3	40,00	83,10	74,6	76,00	79,72	84,1
5,00	94,95	37,0	41,00	82,95	74,8	77,00	79,70	84,5
6,00	94,15	41,1	42,00	82,78	75,1	78,00	79,65	84,9
7,00	93,35	44,6	43,00	82,65	75,4	79,00	79,55	85,4
8,00	92,60	47,6	44,00	82,50	75,6	80,00	79,50	85,8
9,00	91,90	50,0	45,00	82,45	75,9	81,00	79,40	86,3
10,00	91,30	52,2	46,00	82,35	76,1	82,00	79,30	86,7
11,00	90,80	54,1	47,00	82,30	76,3	83,00	79,20	87,2
12,00	90,50	55,8	48,00	82,15	76,5	84,00	79,10	87,7
13,00	89,70	57,4	49,00	82,00	76,8	85,00	78,95	88,3
14,00	89,20	58,8	50,00	81,90	77,0	86,00	78,85	88,9
15,00	89,00	61,0	51,00	81,80	77,3	87,00	78,75	89,5
16,00	88,30	61,1	52,00	81,70	77,5	88,00	78,65	90,1
17,00	87,90	62,2	53,00	81,60	77,7	89,00	78,60	90,7
18,00	87,70	63,2	54,00	81,50	78,0	90,00	78,50	91,3
19,00	87,40	64,3	55,00	81,40	78,2	91,00	78,40	92,0
20,00	87,00	65,0	56,00	81,30	78,5	92,00	78,30	92,65
21,00	86,70	65,8	57,00	81,25	78,7	93,00	78,27	93,4
22,00	86,40	66,6	58,00	81,20	79,0	94,00	78,20	94,2
23,00	86,20	67,3	59,00	81,10	79,2	95,00	78,18	95,05
24,00	85,95	68,0	60,00	81,00	79,5	95,57	78,15	95,57
25,00	85,70	68,6	61,00	80,95	79,7			
26,00	85,40	69,3	62,00	80,85	80,0			

Продолжение таблицы 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,00	26	21,22	52	44,31	78	71,19
1	0,79	27	22,06	53	45,26	79	72,33
2	1,59	28	22,91	54	46,22	80	73,48
3	2,38	29	23,76	55	47,18	81	74,64
4	3,18	30	24,61	56	48,15	82	75,81
5	3,98	31	25,46	57	49,13	83	77,00
6	4,78	32	26,32	58	50,11	84	78,19
7	5,59	33	27,18	59	51,10	85	79,40
8	6,40	34	28,04	60	52,09	86	80,62
9	7,20	35	28,91	61	53,09	87	81,86
10	8,01	36	29,78	62	54,09	88	83,11
11	8,83	37	30,65	63	55,11	89	84,38
12	9,64	38	31,53	64	56,13	90	85,66
13	10,46	39	32,41	65	57,15	91	86,97
14	11,27	40	33,30	66	58,19	92	88,29
15	12,09	41	34,19	67	59,23	93	89,63
16	12,91	42	35,09	68	60,27	94	91,00
17	13,74	43	35,99	69	61,33	95	92,41
18	14,56	44	36,89	70	62,39	96	93,84
19	15,39	45	37,80	71	63,46	97	95,30
20	16,21	46	38,72	72	64,54	98	96,81
21	17,04	47	39,69	73	65,63	99	98,38
22	17,88	48	40,56	74	66,72	100	100
23	18,71	49	41,49	75	67,83		
24	19,54	50	42,43	76	68,94		
25	20,38	51	43,37	77	70,06		

Высота колонны H , м,

$$H = (n-1)h + h_1 + h_2,$$

где h_1 и h_2 – соответственно расстояние от нижней тарелки до основания колонны и расстояние от верхней тарелки до верхнего днища колонны, м, ($h_1 = 0,7$ м; $h_2 = 0,3$ м);

n – число тарелок, шт.

Таблица 7.3 – Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Давление $p, \text{кПа}$	Энтальпия пара $i_1, \text{кДж/кг}$	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Давление $p, \text{кПа}$	Энтальпия пара $i_1, \text{кДж/кг}$
80	47,3	2643,8	240	3348,0	2799,5
90	70,1	2660,3	250	3977,6	2795,2
100	101,3	2676,3	260	4694,0	2788,3
110	143,3	2691,8	270	5505,1	2778,6
120	198,5	2706,6	280	6419,1	2765,4
130	270,1	2720,7	290	7444,8	2748,4
140	361,4	2734,0	300	8591,7	2726,8
150	475,9	2746,3	310	9869,7	2699,6
160	618,0	2757,7	320	11290	2665,5
170	792,0	2768,0	330	12865	2622,3
180	1002,7	2777,1	340	14608	2566,1
190	1255,2	2784,9	350	16537	2485,7
200	1555,1	2791,4	360	18674	2335,7
210	1907,9	2796,4	370	21053	2150,7
220	2320,1	2799,9	374	22084	2799,5
230	2797,9	2801,7			

Площадь поперечного сечения колонны $F, \text{м}^2$,

$$F = \frac{p_2 i_1}{3600 w_n r_n i_2},$$

где i_1 и i_2 – соответственно энтальпия греющего пара при давлении, с которым он поступает в бражную колонну, и рабочем давлении p_2 пара непосредственно в колонне, кДж/кг, $p_2 = 0,115 \text{ МПа}$;

r_n – плотность пара при рабочем давлении p_2 , кг/м³ ($r_n = 0,661 \text{ кг/м}^3$).

Диаметр колонны, $d_k, \text{м}$,

$$d_k = \sqrt{4F/\rho}.$$

Расчет элюционной и ректификационных колонн брагоректификационного аппарата косвенного действия осуществляется по аналогичной методике исходя из балансов тех продуктов, которые поступают в эти колонны.

Таблица 7.4 – Свойства водно-спиртовых паров при температуре конденсации и атмосферном давлении

Массовая доля этанола в парах, %	Температура конденсации, °С	Плотность пара, кг/м ³	Удельная теплостоемкость, кДж/(кг·К)	Энтальпия жидкости, кДж/кг	Теплота испарения смеси, кДж/кг	Теплосодержание пара, кДж/кг
0	100	0,589	4,187	418,7	2256,7	2675,4
5	99,4	0,620	4,271	424,5	2185,5	2610,1
10	98,8	0,643	4,312	426,2	2114,3	2540,6
15	98,2	0,667	4,312	423,3	2043,2	2466,4
20	97,6	0,694	4,312	420,8	1972,0	2392,8
25	97,0	0,722	4,333	420,4	1902,9	2323,3
30	96,0	0,750	4,354	417,8	1833,8	2250,4
35	95,3	0,785	4,271	407,0	1762,6	2169,6
40	94,0	0,817	4,229	397,3	1691,5	2087,1
45	93,2	0,854	4,103	382,3	1624,5	2006,7
50	91,9	0,887	4,019	369,3	1553,3	1922,6
55	90,6	0,933	3,936	356,7	1484,2	1840,9
60	89,0	0,976	3,852	342,9	1415,1	1758,0
65	87,0	1,025	3,726	322,8	1346,1	1668,9
70	85,1	1,085	3,601	306,5	1277,0	1583,5
75	82,8	1,145	3,433	284,3	1210,0	1494,3
80	80,8	1,214	3,224	260,0	1143,0	1403,0
85	79,6	1,295	3,140	250,0	1071,8	1321,8
90	78,7	1,380	3,015	237,4	996,5	1233,9
95	78,2	1,480	2,847	222,7	925,3	1148,0
100	78,3	1,598	2,680	209,8	854,1	1063,9

Задание: расчет брагоректификационного аппарата, если заданы: производительность аппарата по абсолютному спирту Π , дал/сут.; температура бражки после подогревания, поступающей в бражную колонну $t_{бр}$ °С; массовая доля сухих веществ в бражке $B_{бр}$, %; массовая доля сухих веществ в барде $B_{б}$, %; массовая доля алкоголя в бражке $X_{бр}$, %; коэффициент избытка водно-спиртового пара b ; давление греющего пара, поступающего в колонну p , МПа; температура барды, удаляемой из аппарата $t_{б}$, °С; число тарелок бражной

колонны n ; расстояние между тарелками бражной колонны h , м; глубина барботажного слоя Z , м.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 7.6.

Таблица 7.5 – Варианты индивидуальных заданий

Номер вари- анта	Π , дал/сут	$t_{бр}$, °C	$B_{бр}$, % мас.	B_{ϕ} , % мас.	$X_{бр}$, % мас.	b	p , МПа	t_{ϕ} , °C	n , шт.	h , м	Z , м
1	1000	68	7,0	6,0	6,8	1,05	0,12	101	20	0,220	0,035
2	1200	70	7,5	6,5	7,0	1,07	0,15	102	21	0,230	0,037
3	1500	72	8,0	7,5	7,2	1,09	0,18	103	22	0,240	0,040
4	1800	74	6,5	8,0	7,5	1,10	0,20	101	23	0,250	0,042
5	2000	76	7,0	8,5	7,7	1,12	0,22	102	24	0,240	0,040
6	2200	74	7,5	9,0	8,0	1,14	0,25	103	25	0,230	0,037
7	2500	72	8,0	8,5	8,2	1,15	0,22	101	20	0,260	0,035
8	3000	70	8,5	8,0	8,5	1,05	0,20	102	21	0,280	0,037
9	1500	70	7,0	6,0	6,8	1,15	0,22	101	22	0,220	0,035
10	1800	68	7,5	6,5	7,0	1,12	0,20	102	23	0,230	0,037
11	2000	72	8,0	7,5	7,2	1,14	0,18	103	24	0,240	0,040
12	2200	74	6,5	7,0	7,5	1,10	0,15	102	25	0,250	0,042
13	2400	76	7,0	7,5	7,7	1,09	0,12	101	20	0,260	0,040
14	2600	70	7,5	8,0	8,0	1,07	0,25	102	21	0,270	0,037
15	2800	68	8,0	8,5	8,2	1,05	0,20	103	22	0,280	0,035
16	3000	72	8,5	9,0	8,5	1,10	0,22	102	23	0,260	0,037
17	1400	70	7,0	6,0	7,5	1,15	0,25	101	24	0,220	0,035
18	1600	72	7,5	6,5	7,2	1,12	0,22	102	25	0,230	0,037
19	1800	70	8,0	7,0	7,5	1,14	0,20	103	20	0,240	0,040
20	2000	68	6,5	7,5	7,7	1,10	0,18	101	21	0,250	0,042
21	1800	72	7,0	8,0	8,0	1,05	0,15	102	22	0,260	0,035
22	1600	74	7,5	8,5	8,2	1,07	0,12	103	23	0,270	0,037
23	2000	76	8,0	9,0	8,5	1,09	0,16	102	24	0,280	0,040
24	2200	72	8,5	6,5	7,5	1,12	0,18	101	25	0,270	0,042
25	2500	70	6,5	7,5	8,0	1,15	0,20	103	24	0,260	0,037

Контрольные вопросы. 1 Что называется процессом перегонки? 2 Что такое ректификация спирта? 3 Каков химический состав примесей этилового спирта? 4 На какие группы с точки зрения очистки подразделяются примеси

этилового спирта, и чем они отличаются? 5 Что называется коэффициентами испарения и ректификации, по каким формулам они определяются? 6 Что является основным рабочим элементом колонны, какие типы тарелок используются в колоннах аппаратов? 7 По каким данным определяется температура кипящей бражки на тарелке питания? 8 Какими обязательными теплообменными устройствами снабжена каждая из колонн аппарата? 9 Как классифицируются брагоректификационные аппараты? 10 Каково назначение сепаратора и ловушки для бражной колонны брагоректификационного аппарата косвенного действия? 11 Какие основные продукты поступают в элюационную и ректификационную колонны аппарата?

8 Сушильное оборудование

8.1 Практическое занятие № 1

Расчет барабанной сушилки

Цель работы: изучение теоретических основ процесса сушки; знакомство классификацией барабанных сушилок; устройством и принципом их работы; выполнение расчета барабанной сушилки.

8.1.1 Теоретические сведения

К барабанным относятся горизонтальные цилиндрические сушилки с вращающимся или неподвижным корпусом. В первом случае вместе с барабаном вращается внутренняя насадка, обеспечивающая перемешивание материала, во втором – специальное перемешивающее устройство. По способу подвода теплоты барабанные сушилки делятся на конвективные (прямого действия), контактные (непрямого действия) и комбинированные (смешанного действия).

Эффективность насадки оценивается приближенной зависимостью

$$K_{эф} = 0,45n\sqrt{h},$$

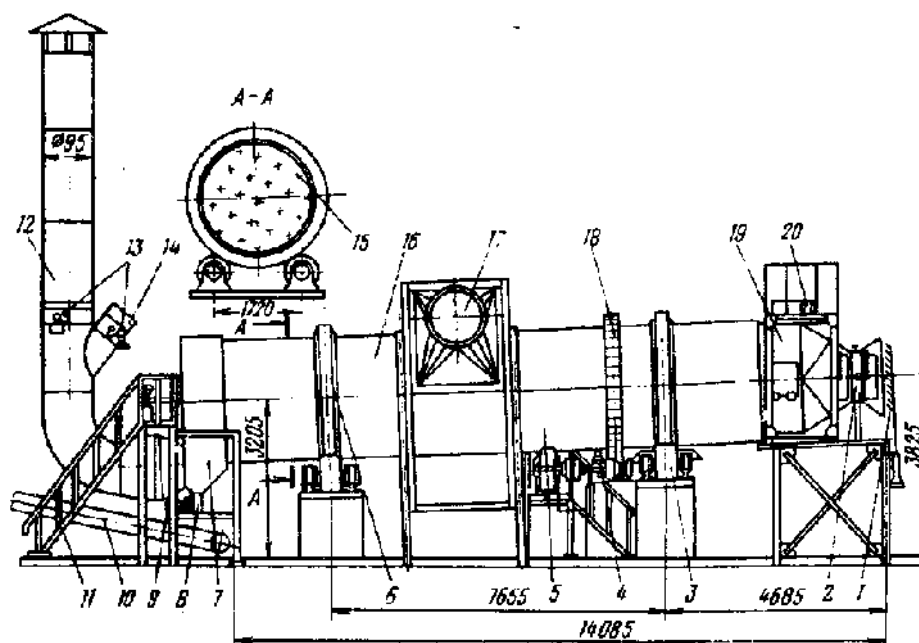
где n – частота вращения, об/мин;

h – средняя высота слоя, м.

Коэффициент $K_{эф}$ характеризует отношение объема материала, находящегося в сыпи, к полному объему материала в аппарате. Другой важной характеристикой барабанной сушилки является коэффициент заполнения b_m . Чем выше b_m , тем больше поверхность высушиваемого материала участвует в тепло- и массообмене с сушильным агентом и тем эффективнее используется рабочий объем барабана. Величина b_m зависит от конструкции насадки; по практическим данным $b_m = 0,15 - 0,35$.

Барабанная конвективная сушилка (рисунок 8.2) работает, на смеси топливных газов с воздухом. Она состоит из двух секций – сушильной 16 и охлаждающей 5. Корпус аппарата опирается бандажами на две пары роликов и вращается от привода 4 через венцовую передачу. Материал через ротационный питатель 20 поступает в неподвижную головку 19, а затем в корпус сушилки. Высушенный материал удаляется из аппарата через ротационный затвор 8. В сушильной части барабана воздух, подогретый в калорифере 2, движется прямоточно с материалом, а в охлаждающей – холодный воздух движется противоточно. В охлаждающую часть барабана воздух поступает при помощи патрубка 14 и трубы 12. Его количество регулируется шиберами 13.

Высушенный материал из камеры через затвор-мигалку 7 направляется на ленточный транспортер 13; отработанные газы поступают в циклон-пылеотделитель 8, откуда дымососом 9 подаются в мокрый скруббер 10 и далее отводятся в атмосферу. Сушилка работает под небольшим разрежением.



1 – жалюзи; 2 – калорифер; 3 – опорные ролики; 4 – привод; 5 – секция охладительная; 6 – бандаж; 7, 19 – головки неподвижные; 8 – ротационный затвор; 9 – привод ротационного затвора; 10 – ленточный транспортер; 11 – лестница; 12 – труба; 13 – шиберы; 14, 17 – патрубки; 15 – насадка; 16 – сушильная секция; 18 – венцовая шестерня; 20 – ротационный питатель

Рисунок 8.2 – Барабанная сушилка

8.1.2 Методика расчета

Для удобства расчетов переведем относительную влажность W , %, материала в абсолютное влагосодержание U , кг/кг,

$$U_0 = W_0 / (100 - W_0),$$

где W_0 – начальная влажность продукта, %;

$$U_k = W_k / (100 - W_k),$$

где W_k – конечная влажность продукта, %.

Рассчитаем производительность сушилки, кг/ч:

по абсолютно сухому продукту

$$G_m = G_{mk} / (1 + U_k),$$

по испаряемой влаге

$$W = G_m (U_0 - U_k),$$

по исходному продукту

$$G_{mo} = G_{mk} + W.$$

Унос материала из сушилки с отработанным воздухом, кг/ч,

$$G_{yh} = K_{yh} G_{mk},$$

где K_{yh} – коэффициент уноса материала из барабана (таблица. 8.1), %.

Таблица 8.1 – Некоторые характеристики высушиваемых продуктов

Наименование продукта	Средняя плотность продукта ρ_m , кг/м ³ ;	Насыпная плотность продукта ρ_{nc} , кг/м ³	Удельная теплотемкость продукта c_m , кДж/(кг·К)	Начальная влажность продукта W_0 , %	Конечная влажность продукта W_k , %	Коэффициент уноса продукта K_{yh} , %
Сахар	1580	800–900	0,712	0,50–0,55	0,06–0,07	3–8
Соль	2160	1025–1260	0,921	3	0,1	2–9
Пшеница	1430–1530	700–830	1,50–1,60	16–18	10–12	2–3
Ячмень	1400–1500	550–750	1,49–1,51	16–19	10–12	2–3
Подсолнечник	940	420	2,26–3,85	14–19	7	1–2
Зерна кофе	1420	500–620	3,24–3,68	11	4	1
Рожь	1440–1550	650–690	1,50	15–18	11–12	2–3

Влагосодержание воздуха, поступающего в калорифер X_{bx} , кг/кг,

$$X_{bx} = 0,622 j_{bx} p_n / (p - j_{bx} p_n),$$

где j_{bx} – относительная влажность наружного воздуха ($j_{bx} = 0,60 - 0,85$);

p – барометрическое давление воздуха ($p = 99,5$ кПа), Па;

p_n – давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре наружного воздуха $t_{bx} = 18 - 23$ °С (таблица 8.2).

Энтальпия наружного воздуха $I_{\text{вх}}$, кДж/кг,

$$I_{\text{вх}} = c_r t_{\text{вх}} + (r_0 + c_n t_{\text{вх}}) X_{\text{вх}},$$

где c_r – удельная теплоемкость наружного воздуха, кДж/(кг·К), $c_r = 1,006$ кДж/(кг·К);

$t_{\text{вх}}$ – температура наружного воздуха, $t_{\text{вх}} = 18 - 23$ °С;

r_0 – удельная теплота парообразования при 0 °С, кДж/кг ($r_0 = 2495$ кДж/кг);

c_n – удельная теплоемкость пара, кДж/(кг·К), $c_n = 1,965$ кДж/(кг·К).

Таблица 8.2 – Упругость водяных паров

t , °С	p_n , Па	t , °С	p_n , Па
0	610,5	40	7371,5
5	871,8	50	12330,2
10	1227,7	60	19861,7
14	1599,6	70	31192,2
16	1812,9	80	47321,5
18	2066,2	90	70115,8
20	2332,8	100	101308,0
25	3172,5	150	470880,0
30	4238,9	200	1500930,0

При $X_0 = X_{\text{вх}}$ энтальпия нагретого воздуха на входе в сушилку, кДж/кг,

$$I = c_r t_0 + (r_0 + c_n t_0) X_0.$$

Удельный расход теплоты на нагрев высушиваемого материала, кДж/кг,

$$q_m = (c_m + c_{\text{жс}} U_k)(q_k - q_0)/(U_0 - U_k),$$

где c_m – удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг·К);

$c_{\text{жс}}$ – удельная теплоемкость воды, $c_{\text{жс}} = 4,187$ кДж/(кг·К).

Удельный расход теплоты на компенсацию энергии связи влаги с материалом, кДж/кг,

$$\bar{q}_c = (a/2)(U_0 - U_k),$$

где $a = 4200$ кДж/кг – постоянная величина.

Удельные тепловые потери q_{nm} примем равными 10 % от q_M :

$$q_{nm} = 0,1q_M.$$

Тогда изменение потенциала воздуха по испарившейся влаге, кДж/кг,

$$\Delta = c_{ж}q_0 - (q_M + \bar{q}_c + q_{nm}).$$

Энтальпия пара при конечной температуре t_k , кДж/кг,

$$I_{нк} = r_0 + c_n t_k.$$

Конечная энтальпия влажного воздуха, кДж/кг,

$$I = [c_r t_k \Delta + I_{нк} (X_0 \Delta - I_0)] / (\Delta - I_{нк}).$$

Конечное влагосодержание воздуха, кг/кг,

$$X_k = (I_k - I_0) / \Delta + X_0.$$

Тогда

$$\Delta X = X_k - X_0.$$

Расход теплоты в калорифере, кДж/кг,

$$Q_{кл} = q_u W = [(I_0 - I_{вх}) / (X_k - X_0)] W.$$

Расход воздуха, кг/ч,

$$L = W / \Delta X.$$

Объемная производительность по газу, м³/с

$$V_z = L / r_z,$$

где r_z – плотность воздуха при средней температуре в барабане t_{cp} , кг/м³,

$$t_{cp} = 0,5(t_1 + t_2), \quad r_z = 1,293 \cdot 273 / (273 + t_{cp}).$$

Рабочий объем барабана $V_{ан}$, м³,

$$V_{ан} = W / A_u,$$

где A_u – напряжение рабочего объема барабана по испарившейся влаге, кг/(м³·ч) (таблица 8.3).

Таблица 8.3 – Значения напряжения рабочего объема барабана по испарившейся влаге A_u , кг/(м³·ч)

Температура сушильного агента на входе в барабан t_0 , °C	Влажность материала W_0 , %		
	<10	10–40	>40
80 – 150	1 – 8	6 – 15	10 – 20
150 – 250	10 – 20	15 – 40	30 – 50
150 – 400	15 – 30	25 – 60	50 – 75
400 – 650	20 – 40	30 – 90	80 – 120
650 – 1000	30 – 60	50 – 100	80 – 180

Поперечное сечение барабана S_{an} , м²,

$$S_{an} = V_z / [(1 - b_m) v],$$

где v – максимально допустимая скорость газов в аппарате, зависящая от насыпной плотности материала, м/с (таблица 8.4).

Таблица 8.4 – Максимально допустимая скорость газов v , м/с,

Размер частиц, мм	Насыпная плотность материала, кг/м ³				
	350	1000	1400	1800	2200
Менее 0,3	0,5	2,0	3,0	4,0	5,0
От 0,3 до 2	0,5–1,0	2,0–5,0	3,0–7,5	4,0–10,0	5,0–12,0
Более 2	1,3	5,3	8,0	10,5	13,0

Длина барабана l_{an} , м,

$$l_{an} = V_{an} / S_{an}.$$

Диаметр барабана D_{an} , м,

$$D_{an} = \sqrt{4S_{an}/\rho}.$$

Время сушки $t_{суш}$, мин,

$$t_{\text{суш}} = \frac{120 b_m r_{\text{нс}} (W_0 - W_k)}{A_u [200 - (W_0 - W_k)]},$$

где b_m – коэффициент заполнения барабана материалом ($b_m = 0,15 - 0,35$).

Объем материала, находящегося в барабане, м^3 ,

$$V_m^* = \frac{t_{\text{суш}} (G_{\text{мо}} + G_{\text{мк}} - G_{\text{ун}})}{120 r_{\text{нс}}}.$$

Время пребывания материала в аппарате (проверка), мин,

$$t = \frac{V_m^*}{V_m} = \frac{2V_m^* r_{\text{нс}}}{G_{\text{мо}} + G_{\text{мк}} - G_{\text{ун}}}.$$

Уточним коэффициент заполнения барабана материалом:

$$b = V_m^* / V_{\text{ан}},$$

что близко к принятому в исходных данных.

Число оборотов барабана для сушилок с подъемно-лопастной и комбинированной насадкой n , об/мин,

$$n = m k l_{\text{ан}} / t D_{\text{ан}} \text{та}.$$

где m , k – коэффициенты, зависящие от типа насадки и направления движения теплоносителя;

t – время пребывания материала в барабане, мин;

a – угол наклона барабана ($a = 3,5^\circ$).

При насадке типов б - г, и (рисунок 8.1), $m = 0,6$, $k \geq 0,2$ (прямоток), $k = 0,5$ (противоток); при насадке типа д - ж $m = 0,75 - 1,0$, $k \geq 0,7$ (прямоток), $k \leq 2,0$ (противоток).

Скорость воздуха в свободном сечении барабана, м/с,

$$w = V / S_{\text{ан}} (1 - b_m - b_n),$$

где b_n – коэффициент заполнения барабана насадкой ($b_n = 0,05 - 0,10$).

Задание: выполнить расчет прямоточной барабанной сушилки, если заданы: производительность по готовому продукту $G_{\text{мк}}$, кг/ч; температура продук-

та, °С: начальная q_0 , конечная q_k температура теплоносителя, °С; начальная t_0 , конечная t_k температура наружного воздуха $t_{вх} = 18 - 23$ °С; вид высушиваемого продукта; вид насадки.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 8.5.

Таблица 8.5 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Вид продукта	Производительность $G_{МК}$, кг/ч	Температура продукта, °С		Температура теплоносителя, °С		Вид насадки
			начальная q_0	конечная q_0	начальная t_0	конечная t_k	
1	Сахар	16000	47	34	120	60	Подъемно-Лопастная
2	Соль	3500	21	80	350	80	
3	Пшеница	5000	20	55	150	70	
4	Ячмень	4800	20	54	135	62	
5	Подсолнечник	3600	19	75	150	90	Лопастная секторная
6	Зерна кофе	1500	18	120	135	120	
7	Рожь	4300	21	53	250	68	
8	Сахар	15800	46	33	280	58	
9	Соль	7800	19	85	148	75	
10	Пшеница	4600	17	50	118	66	
11	Ячмень	3800	21	52	320	63	
12	Подсолнечник	3200	20	73	150	85	
13	Зерна кофе	700	19	110	144	150	
14	Рожь	4100	20	51	220	58	Подъемно-лопастная
15	Сахар	15500	45	34	290	59	
16	Соль	2900	20	90	140	110	
17	Подсолнечник	3400	21	65	119	70	
18	Сахар	15700	46	36	121	61	
19	Соль	3100	18	120	280	60	
20	Пшеница	6100	17	50	128	54	
21	Ячмень	3800	17	50	134	55	
22	Подсолнечник	4800	22	68	210	75	Лопастная секторная
23	Зерна кофе	650	20	140	250	130	
24	Рожь	4700	19	50	138	58	
25	Зерна кофе	850	21	155	270	145	

Контрольные вопросы. 1 Каковы устройство и принцип действия барабанных сушилок? 2 Какова классификация барабанных сушилок? 3 В каких отраслях пищевой промышленности используются барабанные сушилки? 4 Каковы основные недостатки и преимущества барабанных сушилок? 5 Каковы основные направления повышения тепловой эффективности барабанных сушилок? 6 Почему в барабанных сушилках применяют насадки? 7 Какие виды насадок используются в барабанных сушилках?

8.2 Практическое занятие № 2

Расчет сушилки с горизонтальными решетками для сушки солода

Цель работы: изучить теоретические основы процесса сушки; ознакомиться с классификацией оборудования для сушки солода; освоить методику расчета сушилки с горизонтальными решетками для сушки солода.

8.2.1 Теоретические сведения

Сушка – это процесс удаления влаги из сырья или пищевых продуктов путем ее испарения и отвода образовавшихся паров.

По способу подвода теплоты к высушиваемому материалу различают следующие методы сушки:

- конвективный (воздушная сушка) – теплота подводится при непосредственном соприкосновении сушильного агента с обрабатываемым материалом;
- кондуктивный (контактный) – теплота передается от сушильного агента к материалу через разделяющую их стенку;
- диэлектрический (СВЧ-сушка) – теплота передается путем нагревания обрабатываемого материала в электромагнитном поле;

- сублимационный – сушка обрабатываемого материала происходит при глубоком вакууме и в замороженном состоянии.

Оборудование для сушки пищевых продуктов классифицируют по следующим признакам:

- по способу подвода теплоты – сушилки конвективные, кондуктивные (контактные), электрические, радиационные и др.;
- по виду используемого теплоносителя – воздушные, газовые и паровые;
- по давлению воздуха в сушильной камере – атмосферные и вакуумные;
- по состоянию слоя материала – плотный неподвижный, плотный малоподвижный, взвешенный, кипящий, падающий, комбинированный;
- по направлению движения материала и теплоносителя в конвективных сушилках – прямоточные, противоточные и с перекрестным движением;
- по характеру движения обрабатываемого материала при сушке – прямоточные и рециркуляционные;
- по организации процесса – периодического и непрерывного действия;
- по характеру использования – стационарные и передвижные.

Солод, используемый в пивоварении, после проращивания сушат. Цель сушки состоит в том, чтобы понизить его влажность с $W_n = 43 - 45 \%$ до $W_n = 3,0 - 3,5 \%$ для придания солоду специфического вкуса, цвета и аромата.

На пивоваренных заводах применяют сушилки периодического и непрерывного действия; одно-, двух- и трехъярусные вертикальные сушилки периодического действия; шахтные сушилки непрерывного действия типа ЛСХА и статические солодовни, работающие по совмещенному способу (таблица 8.6).

Большая часть влаги удаляется из солода в сушилке при относительно низких температурах. Для этого в начальный период сушки солод интенсивно продувают воздухом, нагретым от 40°C до 50°C . В конечный период сушки количество удаляемой влаги невелико, но для тепловой обработки солода температуру воздуха повышают от 75°C до 105°C (в зависимости от типа солода).

Поэтому рационально построенные сушилки для солода рассчитаны на работу с переменным количеством воздуха в зонах: в калорифер и в нижнюю зону (нижнюю решетку) подают ограниченное количество воздуха; в средней и верхней зонах к воздуху, выходящему из нижней зоны, добавляют холодный воздух в таком количестве, чтобы получилась смесь требуемой температуры.

Таблица 8.6 – Основные технические данные солодосушилок разных типов

Тип сушилки	Продолжительность цикла сушки, ч	Расход теплоты, кДж		Применяемое топливо	Расход электро энергии на 1000 кг солода, кВт·ч	Производительность на 1 м ² основания сушильных решеток, кг/м ²
		на 1 кг сухого солода	на 1 кг испаренной влаги			
Одноярусная с обогревом топочными газами	24	3770 – 5020	$(5,4 – 7,1) \cdot 10^3$	Кокс	24 – 36	225 – 250
Одноярусная двухкамерная с калорифером	24	2720	$3,77 \cdot 10^3$	Местное топливо	24 – 36	225 – 250
Двухъярусная с калорифером	24 – 48	5230 – 6700	$(7,5 – 9,6) \cdot 10^3$	Местное топливо	5 – 7	80 – 140
Трехъярусная с калорифером	36 – 72	4200 – 5000	$(5,9 – 7,1) \cdot 10^3$	Местное топливо	5 – 7	120 – 140
Вертикальная трехъярусная	36	2300 – 3270	$(3,3 – 4,6) \cdot 10^3$	Местное топливо	2,6	200 – 250
Шахтная сушилка непрерывного действия: ЛСХА-5	16 – 18	2490 – 3480	$(3,56 – 5,4) \cdot 10^3$	Обогрев паром	5,7	690
ЛСХА-10,20	16 – 18	2640 – 4000	$(3,8 – 5,6) \cdot 10^3$		4,4	870 – 900
Статическая солодовня, работающая по совмещенному способу	24 – 36	5000 – 7950	$10,5 \cdot 10^3$	Газ	–	275 – 400

8.2.2 Методика расчета

Горизонтальная двухъярусная сушилка периодического действия (рисунок 8.3) представляет собой высокое помещение с расположенными внутри решетками, на которых высушивается солод.

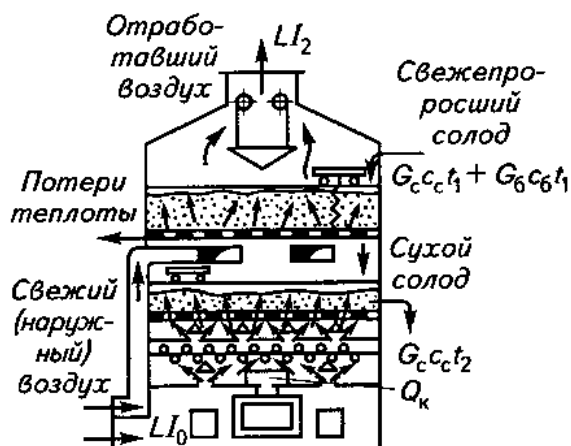


Рисунок 8.3 – Схема горизонтальной двухъярусной сушилки

Свежепроросший солод загружают ровным слоем на верхнюю решетку, где из него удаляется часть влаги. На нижней решетке наряду с удалением остатков влаги происходит тепловая обработка солода. Горячие газы из топки проходят через калорифер и через дымовую трубу выбрасываются наружу. Для регулирования количества воздуха в перекрытиях установлены клапаны.

Холодный наружный воздух можно подавать, минуя калорифер, непосредственно под верхнюю решетку. Солод на решетках периодически перемешивается солодворошителями. Производительность такой сушилки невелика, так как она работает на естественной тяге, поэтому для улучшения тяги снизу создают подпор, а сверху – разрежение.

Производительность сушилки G (кг/ч) периодического действия с горизонтальными решетками определяют по количеству сухого солода, снимаемого

с площади решетки. Она зависит от высоты слоя солода на решетках и продолжительности пребывания его в сушилке между разгрузками:

$$G = F h_c r_c V_2 / (t V_1),$$

где F – площадь сушильной решетки, м²;

h_c – высота слоя свежепроросшего солода на верхней решетке, м;

r_c – насыпная плотность свежевысушенного солода ($r_c = 510$ кг/м³);

V_1 и V_2 – объемы свежепроросшего и свежевысушенного солода, полученного из 1000 кг очищенного воздушно-сухого ячменя, м³ ($V_1 = 3,2$ м³; $V_2 = 1,42$ м³);

t – продолжительность сушки на каждой решетке, ч.

Уравнение теплового баланса сушилки периодического действия с переменным количеством воздуха в зонах имеет вид:

$$G_c c_c t_1 + G_v c_v t_1 + L_1 I_1 + L_2 I_0 = G_c c_c t_2 + L I_2 + \Sigma Q_n,$$

где G_c, G_v – масса высушенного солода и масса испаряемой из него воды, кг;

c_c, c_v – удельные теплоемкости солода и воды, кДж/(кг·К);

t_1, t_2 – начальная и конечная температуры солода, °С;

L_1, L_2, L – массовый расход воздуха соответственно нагреваемого калорифером, поступающего в сушильные камеры, минуя калорифер, и общего количества воздуха, проходящего через сушилку, кг;

I_0, I_1, I_2 – энтальпии воздуха соответственно свежего (наружного), после калорифера и отработавшего, кДж/кг;

ΣQ_n – потери теплоты в окружающую среду, кДж.

Уравнение теплового баланса двухъярусной сушилки без учета дополнительного подвода воздуха под верхнюю решетку имеет вид:

$$G_c c_c t_1 + G_v c_v t_1 + L I_0 + Q_k = G_c c_c t_2 + L I_2 + \Sigma Q_n,$$

тогда теплота, сообщаемая воздуху в калорифере ($Q_k = L I_1$), определяется как

$$Q = G_c c_c (t_2 - t_1) - G_b c_b t_1 + L(I_2 - I_0) + \Sigma Q_n.$$

Порядок расчета горизонтальной сушилки

Расход топлива на сушку солода в горизонтальной сушилке определяется, если заданы следующие конструктивные и режимные параметры. Сушилка двухъярусная с горизонтальными решетками площадью $F = 20 \text{ м}^2$ каждая. Свежепроросший солод загружают на верхнюю решетку слоем $h_c = 0,30 \text{ м}$ через каждые $t = 12 \text{ ч}$. В качестве топлива в топке сушилки сжигают мазут. Начальная влажность свежепроросшего солода $W_n = 43 \%$, конечная влажность сухого солода $W_k = 4 \%$. Температура свежепроросшего солода летом $t_{1л} = 18 \text{ }^\circ\text{С}$; зимой $t_{1з} = 14 \text{ }^\circ\text{С}$. Температура солода, высушенного летом и зимой, $t_2 = 75 \text{ }^\circ\text{С}$. Температура свежего (атмосферного) воздуха летом $t_{0л} = 22 \text{ }^\circ\text{С}$, зимой $t_{0з} = -10 \text{ }^\circ\text{С}$. Температура отработавшего воздуха летом $t'_{2л} = 28 \text{ }^\circ\text{С}$, зимой $t'_{2з} = 24 \text{ }^\circ\text{С}$. Относительная влажность свежего воздуха летом $j_{0л} = 62 \%$, зимой $j_{0з} = 90 \%$. Относительная влажность отработавшего воздуха летом и зимой $j_2 = 70 \%$. Влагосодержание свежего воздуха летом $d_{0л} = 0,01699 \text{ кг/кг}$, зимой $d_{0з} = 0,00163 \text{ кг/кг}$. Влагосодержание отработавшего воздуха летом $d_{2л} = 0,02460 \text{ кг/кг}$, зимой $d_{2з} = 0,01925 \text{ кг/кг}$.

По условиям примера суточная производительность сушилки

$$G_{ск} = 24 F h_c r_c V_2 / (t V_1) = 24 \cdot 20 \cdot 0,3 \cdot 510 \cdot 1,42 / (12 \cdot 3,2) = 2716 \text{ кг}.$$

Удельная теплоемкость сухого солода при влажности $W_k = 4 \%$

$$\begin{aligned} c_c &= [c_o (100 - W_k) + c_b W_k] / 100 = \\ &= [1,423(100 - 4) + 4,19 \cdot 4,0] / 100 = 1,53 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}. \end{aligned}$$

Расход теплоты на нагревание солода в сушилке:

летом $Q_{cl} = G_{ck} c_c (t_2 - t_{1l}) = 2716 \cdot 1,53 (75 - 18) = 236862 \text{ кДж};$

зимой $Q_{cz} = G_{ck} c_c (t_2 - t_{1z}) = 2716 \cdot 1,53 (75 - 14) = 253484 \text{ кДж}.$

Количество влаги, испаряемой из солода,

$$G_e = G_{ck} \left[(W_n - W_k) / (100 - W_n) \right] = \\ = 2716 \cdot [(43 - 4) / (100 - 43)] = 1858 \text{ кг}.$$

Энтальпия этой влаги:

летом $Q_{el} = G_e c_e t_{1l} = 1858 \cdot 4,19 \cdot 18 = 140154 \text{ кДж};$

зимой $Q_{ez} = G_e c_e t_{1z} = 1858 \cdot 4,19 \cdot 14 = 108990 \text{ кДж}.$

Удельная энтальпия свежего воздуха:

летом $I_{0l} = c_{возд} t_{0l} + c_n t_{0l} d_{0l} j_{0l} + r d_{0l} j_{0l} = \\ = 1,005 \cdot 22 + 1,88 \cdot 22 \cdot 0,01699 \cdot 0,62 + 2500 \cdot 0,01699 \cdot 0,62 = 48,88 \text{ кДж/кг};$

зимой $I_{0z} = c_{возд} t_{0z} + c_n t_{0z} d_{0z} j_{0z} + r d_{0z} j_{0z} = \\ = 1,005 \cdot (-10) + 1,88 \cdot (-10) \cdot 0,00163 \cdot 0,9 + 2500 \cdot 0,00163 \cdot 0,9 = -6,41 \text{ кДж/кг},$

где $c_{возд}, c_n$ – удельная теплоемкость соответственно абсолютно сухого воздуха и водяного пара [$c_{возд} = 1,005 \text{ кДж/(кг·К)}$; $c_n = 1,88 \text{ кДж/(кг·К)}$];

r_0 – удельная теплота испарения воды при 0 °С ($r_0 = 2500 \text{ кДж/кг}$).

Удельная энтальпия отработавшего воздуха:

летом $I_{2l} = c_{возд} t'_{2l} + c_n t'_{2l} d_{2l} j_2 + r_0 d_{2l} j_2 = \\ = 1,005 \cdot 28 + 1,88 \cdot 28 \cdot 0,02460 \cdot 0,7 + 2500 \cdot 0,02460 \cdot 0,7 = \\ = 72,09 \text{ кДж/кг};$

зимой $I_{2z} = c_{возд} t'_{2z} + c_n t'_{2z} d_{2z} j_2 + r_0 d_{2z} j_2 = \\ = 1,005 \cdot 24 + 1,88 \cdot 24 \cdot 0,01925 \cdot 0,7 + 2500 \cdot 0,01925 \cdot 0,7 = 58,16 \text{ кДж/кг}.$

Расход воздуха:

летом $L_l = G_e / (d_{2l} - d_{0l}) = 1858 / (0,02460 - 0,01699) = 244474 \text{ кг};$

зимой $L_z = G_e / (d_{2z} - d_{0z}) = 1858 / (0,01925 - 0,00163) = 105448 \text{ кг}.$

Расход теплоты, сообщаемой воздуху калорифером (без учета $\sum Q_n$)

$$\text{летом } Q_{кл} = Q_{сл} - Q_{вл} + L_{л}(I_{2л} - I_{0л}) =$$

$$= 236862 - 140154 + 244474 \cdot (72,09 - 48,88) = 5770950 \text{ кДж};$$

$$\text{зимой } Q_{кл} = Q_{сл} - Q_{вл} + L_{л}(I_{2л} - I_{0л}) =$$

$$= 253484 - 108990 + 105448 \cdot [58,16 - (-6,41)] = 6953271 \text{ кДж}.$$

Принимаем, что максимальный расход теплоты, сообщаемой воздуху в калорифере, соответствует зимнему периоду.

Потери теплоты в окружающую среду принимаем равными $\sum Q_n = 35\%$ общего расхода. Тогда расход теплоты

$$Q = Q_{кз} \left[\frac{100}{(100 - \sum Q_n)} \right] = 6953271 \cdot [100 / (100 - 35)] = 10697341 \text{ кДж}.$$

Расход теплоты на 1 кг сухого солода

$$Q = Q / G_c = 10697341 / 2716 = 3939 \text{ кДж/кг}.$$

Суточный расход мазута с теплотой сгорания $q_m = 39300 \text{ кДж/кг}$

$$G = Q / q_m = 10697341 / 39300 = 272 \text{ кг}.$$

В пересчете на условное топливо с теплотой сгорания $q_{усл} = 29308 \text{ кДж/кг}$

$$G = Q / q_{усл} = 10697341 / 29308 = 365 \text{ кг}.$$

Расход условного топлива на 1 кг сухого солода

$$G'_{усл} = G_{усл} / G_c = 365 / 2716 = 0,13 \text{ кг/кг}.$$

Задание. Рассчитать расход топлива на сушку солода в двухъярусной сушилке с горизонтальными решетками площадью F каждая. Свежепроросший солод загружают на верхнюю решетку слоем h_c через каждые $t = 10$ ч. В качестве топлива в топке сжигают мазут. Начальная влажность свежепроросшего солода W_n ; конечная влажность сухого солода W_k . Температура свежепроросшего солода летом $t_{1л}$; зимой $t_{1з}$. Температура солода, высушенного летом и

зимой, $t_2 = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура свежего (атмосферного) воздуха летом $t_{0л}$ зимой $t_{0з} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура отработанного воздуха летом $t_{2л}$, зимой $t_{2з}$. Относительная влажность свежего воздуха летом $j_{0л} = 62\%$, зимой $j_{0з} = 90\%$. Относительная влажность отработавшего воздуха летом и зимой $j_2 = 70\%$. Влагосодержание свежего воздуха летом $d_{0л}$, зимой $d_{0з} = 0,00163$. Влагосодержание отработанного воздуха летом $d_{2л}$, зимой $d_{2з}$.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 8.7.

Таблица 8.7 – Варианты индивидуальных заданий

Вариант	F , м^2	h_c , м	W_n , %	W_k , %	$t_{1л}$, $^{\circ}\text{C}$	$t_{1з}$, $^{\circ}\text{C}$	$t_{0л}$, $^{\circ}\text{C}$	$t'_{2л}$, $^{\circ}\text{C}$	$t'_{2з}$, $^{\circ}\text{C}$	$d_{0л}$, кг/кг	$d_{2л}$, кг/кг	$d_{2з}$, кг/кг
1	25,0	0,15	45	3,0	17	12	20	30	25	0,01499	0,02776	0,02048
2	27,0	0,20	44	3,5	18	13	21	31	26	0,01596	0,02946	0,02177
3	30,0	0,25	43	4,0	17	14	22	32	27	0,01699	0,03126	0,02315
4	34,0	0,30	42	4,5	18	12	23	33	25	0,01809	0,03317	0,02048
5	38,0	0,35	41	5,0	17	13	24	34	26	0,01925	0,03519	0,02177
6	25,0	0,20	43	4,0	18	14	20	30	27	0,01499	0,02776	0,02315
7	27,0	0,25	42	4,5	17	12	21	31	25	0,01596	0,02946	0,02048
8	30,0	0,30	41	5,0	18	13	22	32	26	0,01699	0,03126	0,02177
9	34,0	0,15	45	3,0	17	14	23	33	27	0,01809	0,03317	0,02315
10	38,0	0,35	44	3,5	18	12	24	34	25	0,01925	0,03519	0,02048
11	25,0	0,20	43	4,0	17	13	20	30	26	0,01499	0,02776	0,02177
12	27,0	0,25	42	4,5	18	14	21	31	27	0,01596	0,02946	0,02315
13	30,0	0,30	41	5,0	18	12	22	32	25	0,01699	0,03126	0,02048
14	34,0	0,15	45	4,0	17	13	23	33	26	0,01809	0,03317	0,02177
15	38,0	0,35	44	4,5	18	14	24	34	27	0,01925	0,03519	0,02315

Контрольные вопросы и задания. 1. В чем заключается процесс сушки? 2. Назовите методы сушки. 3. По каким признакам классифицируют оборудование для сушки пищевых продуктов? 4. Какова цель сушки солода? 5. Какие сушилки применяют для сушки пивоваренного солода?

9 Оборудование для выпечки и обжарки продуктов

9.1 Практическое занятие № 1

Расчет обжарочной печи

Цель работы: знакомство с классификацией обжарочных печей, изучение их устройства и принципа действия; приобретение практических навыков по расчету обжарочных печей.

9.1.1 Теоретические сведения

Овощи обжаривают в специальных аппаратах, в которых промежуточным теплоносителем, контактирующим с продуктом, является растительный или животный жир. В свою очередь жир разогревается паром. Обработка ведется при сравнительно высокой температуре от 120 °С до 160 °С. В продукте под действием теплоты протекает ряд связанных между собой физических и физико-химических процессов, в результате чего происходят выделение и удаление части влаги, впитывание масла, объемная усадка продукта, выделение газов, повышение давления внутри образцов, увеличение пористости, а также изменение плотности и теплоемкости продукта.

Скорость протекающих в продукте процессов зависит от формы и размера кусочков продукта, температуры масла, условий теплообмена между маслом и продуктом и других факторов.

Процесс обжаривания можно разделить на два периода тепло- и массообмена. В первый период температура в продукте постепенно повышается от поверхностных слоев к центральным до 96 °С – 99 °С. В этот период влага движется как наружу в виде пара и жидкости, так и к центру в виде жидкости. Скорость удаления влаги в первый период постоянна, но величина ее зависит от условий теплообмена.

Во второй период температура в каждом слое образца остается некоторое время постоянной и равной от 96 °С до 99 °С; затем при достижении влагосодержания в продукте от 200 % до 300 % к абсолютно сухому веществу (начиная с наружного слоя) температура повышается, приближаясь к температуре масла. В этот период происходят химические процессы, в результате которых образуются вещества, характеризующие вкус и запах обжаренного продукта.

При обжаривании овощей удаляется главным образом свободная влага, выделившаяся из клеток после их плазмолиза под действием высокой температуры. Максимальное количество влаги (примерно от 30 % до 35 % общей массы влаги) удаляется в первый период, т. е. в период нагревания кусочков продукта. Удаление из продукта влаги наружу происходит в основном под действием градиента общего давления. При этом в первый период обжаривания движение влаги наружу несколько тормозится из-за движения части жидкости к центру образца под действием градиента температуры. С повышением температуры масла скорость удаления влаги из овощей увеличивается.

Паромасляная эмульсия, образующаяся в результате испарения влаги из продукта, имеет тенденцию перемещаться со значительной скоростью к поверхности зеркала масла. Благодаря разности плотностей эмульсии в сетке и масла в межсеточных пространствах эта тенденция усиливается.

По достижении пузырьками пара верхнего уровня масла они прорываются в атмосферу. Масло, температура которого меньше, чем в нижних слоях, движется между сетками вниз к нагревательной камере. Таким образом, за счет конвективных токов и движения паромасляной эмульсии в печи создаются высокие скорости движения масла. Благодаря этому вблизи поверхности нагрева возникает турбулентный гидродинамический режим.

В первый период обжаривания интенсивность теплообмена определяется коэффициентом теплоотдачи от масла к продукту путем конвекции. Во второй период из-за образовавшейся корочки, имеющей на поверхности температуру, близкую к температуре масла, интенсивность теплообмена определяется уже

коэффициентом теплопроводности корочки и ее толщиной, т. к. теплота передается в толщу продукта главным образом путем теплопроводности.

При установившемся режиме работы обжарочного аппарата количество теплоты, воспринятое маслом от греющего пара, равно количеству теплоты, затраченному на весь процесс обжаривания и потери.

В начале печи, где происходит загрузка холодного свежего продукта, теплота воспринимается продуктом интенсивнее, чем в конце печи. Равновесная температура масла по длине печи неодинакова. Теплопоток от масла к продукту зависит от физического состояния последнего.

В первый период коэффициент теплоотдачи определяется конвекцией, во второй период в связи с образованием поджаренной корочки на поверхности продукта интенсивность теплообмена – коэффициентом теплопроводности корочки и ее толщиной.

При равновесии процесса, когда теплота, поступившая от пара к маслу, равна теплоте, отданной маслом продукту, интенсивность теплообмена можно описать следующими зависимостями:

для первого периода

$$kFt(t_n - t_m)b = \alpha_3 F_{np} t(t_m - t_{np}); \quad (9.1)$$

для второго периода

$$kFt(t_n - t_m)b = \frac{l_k}{d_k} F_{np} t(t_m - t_{ucn}), \quad (9.2)$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С);

F – площадь поверхности нагрева, м²;

t – продолжительность теплообмена, с;

t_n и t_m – соответственно температуры пара и масла, °С;

b – доля теплоты, воспринятая продуктом ($b = 0,6 - 0,7$);

α_3 – коэффициент теплоотдачи от масла к продукту, Вт/(м²·°С);

F_{np} – площадь поверхности продукта, соприкасающаяся с маслом, м²;

t_{np} – температура поверхности продукта, °С;

λ_k – коэффициент теплопроводности корочки продукта, Вт/(м²·°С);

d_k – толщина корочки продукта, м;

t_{ucn} – температура испарения влаги в продукте, °С ($t_{ucn} = 100$ °С).

Анализ уравнений (9.1) и (9.2) показывает, что скорость движения масла вдоль поверхности продукта интенсифицирует теплообмен только в первый период обжаривания, когда еще нет корочки и передача теплоты осуществляется главным образом конвекцией, а испарение влаги происходит в поверхностных слоях продукта. Во второй период, когда образуется корочка, представляющая собой значительное термическое сопротивление, скорость масла вдоль поверхности продукта очень мало влияет на интенсивность теплообмена.

Продолжительность обжаривания овощей зависит от многих факторов и прежде всего от вида овощей, степени измельчения (размеров кусочков), температуры масла, способа обжаривания, начального и конечного влагосодержания продукта, скорости удаления влаги, толщины корочки и др.

Обжарочные печи могут работать при атмосферном давлении, когда температура испарения влаги из продукта близка к 100 °С, и под вакуумом, когда температура испарения соответствует разрежению в аппарате и равна примерно от 55 °С до 60 °С. В обоих случаях температура масла достигает от 120 °С до 140 °С. Как видно, при обжаривании под вакуумом разность между температурами масла и продукта будет более высокой и, следовательно, влага будет испаряться более интенсивно.

В зависимости от вида теплоносителя различают печи с обжариванием в масле, в потоке горячего газа (воздуха), под воздействием инфракрасных лучей. Широко распространены печи, в которых обжаривание осуществляется в горячем масле.

При паровым обогреве используют водяной пар давлением от 0,8 до 1,2 МПа, подведенный в нагревательные камеры трубчатым теплообменником.

Нагревательная камера погружена в масло в ванне печи, и пар конденсируется внутри трубок. Трубки располагают в один или два ряда по высоте, чаще всего их сплющивают (овальный вид) и устанавливают по длине ванны или по ее ширине (реже). Нагревательная камера в некоторых случаях выносится за пределы ванны; такую печь называют печью с выносной нагревательной камерой: внутри трубок движется масло, а снаружи находится пар.

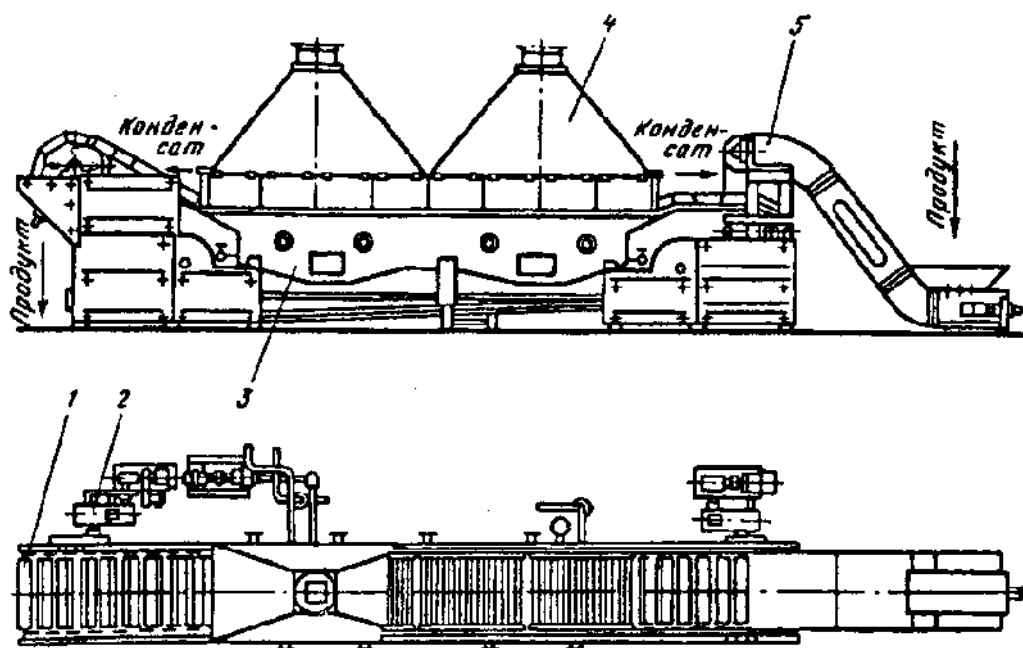
Различают обжарочные печи немеханизированные и механизированные; в последних поток продукта непрерывно перемещается через обжарочную печь при помощи транспортера со съемными или несъемными сетками, с поперечными планками либо ленточного транспортера (сетчатая металлическая лента).

В механизированных печах сетки во время обжаривания продукта находятся в горизонтальном положении, во время выгрузки – в наклонном. К цепям транспортного устройства сетки прикреплены шарнирно или на захватах таким образом, чтобы центр их тяжести был расположен ниже места прикрепления сетки к цепям.

Все транспортные устройства механизированных печей движутся со скоростью примерно от 0,4 до 0,8 м/мин. Такая низкая скорость обусловлена продолжительностью обжаривания и длиной ванны.

Механизированные обжарочные печи бывают также и с охладителями продукта. Охлаждение продукта достигается при обдувании его холодным воздухом (воздушное охлаждение), погружении в холодное масло (масляное охлаждение) и при самоиспарении в вакуум-камерах (вакуумное охлаждение).

Механизированная паромасляная печь АПМП-1 (рисунок 9.1) предназначена для обжаривания в растительном масле овощей в непрерывном режиме, основные узлы: ванна 3, транспортер 1, вытяжное устройство 4, привод 2 и элеватор 5.



1 – транспортер; 2 – привод; 3 – ванна; 4 – вытяжное устройство; 5 – элеватор

Рисунок 9.1 – Паромасляная печь АПМП-1

Ванна представляет собой сварную конструкцию и разделена перегородкой на два отсека: в первом (по ходу продукта) размещены две нагревательные камеры, каждая из которых имеет три ряда трубок по высоте ванны, во втором – две двухрядные нагревательные камеры, поднятые относительно нагревательных камер первого отсека на 50 мм.

Разделение ванны на два отсека со ступенчатым размещением нагревательных камер обеспечивает сокращение количества масла, а распределение поверхности нагрева по длине (65 % в первом отсеке и 35 % во втором) – равномерную температуру его, что способствует более качественному обжариванию продукта.

Масло отделено от днища ванны водяной подушкой. Во избежание перегрева воды при работе в условиях постоянной водяной подушки под нагревательными камерами установлены трубчатые охладители. Транспортер представляет собой бесконечное полотно, собранное из ковшей.

Со стороны загрузки сырья размещена натяжная станция. Над ванной печи устанавливается вытяжное устройство. Транспортирующая лента печи вносит продукт в ванну, где происходит его обжаривание в масле при температуре от 120 °С до 160 °С. Обжаренный продукт выносится лентой из ванны и выгружается в месте огибания ею приводной звездочки.

9.1.2 Методика расчета

Расчет теплоты в обжарочных печах складывается из отдельных статей. Расход теплоты на нагрев продукта, Дж/с,

$$Q_1 = Gc(t_4 - t_3),$$

где G – производительность печи по сырью, кг/с;

c – удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг·К) (таблица 9.1);

t_3 и t_4 – начальная и конечная температура продукта, °С ($t_3 = 18 - 23$ °С;

$$t_4 = t_2 - (4 - 7) \text{ °С}).$$

Таблица 9.1 – Некоторые характеристики обрабатываемого сырья

Наименование продукта	Удельная теплоемкость c , кДж/(кг·К)	Истинный процент у жарки x_u , %	Расход масла на обжаривание M , %
Лук	3,820	64	18,25
Морковь	3,870	56	23,56
Баклажаны	3,119	41,0 – 53,5	19,48
Кабачки	3,401	42,0 – 44,0	20,01
Рыба	3,400 – 3,680	50,0 – 55,0	16,25
Картофель	3,515	31,5	31,50
Свекла	3,900	33,00	33,00

Расход теплоты на испарение влаги при обжаривании, Дж/с,

$$Q_3 = 0,01Gx_u r,$$

где $x_u - x_u$ - истинный процент у жарки, %;

r – теплота испарения, Дж/кг ($r = 2130$ кДж/кг).

Расход теплоты на нагрев сеток, Дж/с,

$$Q = \frac{G}{G_{np}} G_k c_1 (t_2 - t_0),$$

где G_{np} – масса продукта в одной сетке, кг;

G_k – масса одной сетки ($G_k = 3 - 6$ кг);

c_1 – удельная теплоемкость стали, $c_1 = 0,482$ кДж/(кг·К);

t_2 – средняя температура активного слоя масла, °С;

t_0 – начальная температура сеток, °С ($t_0 = 20 - 23$ °С).

Расход теплоты на нагрев доливаемого масла, Дж/с,

$$Q_4 = 0,01 G M c_2 (t_2 - t_1),$$

где M – расход масла на обжаривание сырья, % к массе сырья;

c_2 – удельная теплоемкость масла, кДж/(кг·К);

t_1 – начальная температура масла, °С ($t_1 = t_0$).

Расход теплоты на нагрев охлаждающей воды, Дж/с,

$$Q_5 = G c_6 B (t_6 - t_5),$$

где c_6 – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К);

B – удельный расход охлаждающей воды, кг на 1 кг сырья;

t_5 и t_6 – начальная и конечная температура охлаждающей воды, °С

($t_5 = 16 - 18$ °С; $t_6 = 50 - 60$ °С).

Потери теплоты в окружающую среду путем конвекции и лучеиспускания Q_6 , Дж/с, составляют 8 % от общего расхода теплоты.

Общий расход теплоты, Дж/с,

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6.$$

Площадь поверхности нагрева печи, м², по которому устанавливают размеры нагревательной камеры

$$F = Q_{\text{общ}} / [k(t_n - t_2)],$$

где k – коэффициент теплопередачи, $k = 1900 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$;

t_n – температура греющего пара ($t_n = 145 \text{ }^\circ\text{C}$).

Нагревание масла в обжарочной печи может осуществляться либо за счет электроподогрева, либо за счет парового подогрева.

При паровом подогреве расход пара, кг/с,

$$D_n = Q_{\text{общ}} / (i - i_k),$$

где i и i_k – энтальпия пара и конденсата, Дж/кг.

При электроподогреве необходимо выполнить расчет электрических нагревателей для определения тепловой энергии, необходимой для процесса обжаривания.

Промышленный трехфазный ток $U = 380 \text{ В}$ дает $U_\phi = 220 \text{ В}$.

Сила тока в каждом из трех сопротивлений I_ϕ , А,

$$I_\phi = Q_{\text{общ}} / (3U_\phi).$$

Сила тока в каждом из проводников, создающих общую фазовую нагрузку, должна обеспечивать нагрев проводников – нихромовой спирали до определенной температуры. В зависимости от диаметра нихромовой проволоки и температуры ее нагрева выбираем силу тока i_n (таблица 9.2).

Число параллельных проводников спиралей, на каждую фазу, шт.,

$$n = I_\phi / i_n.$$

Сопротивление каждого из проводников R_n , Ом,

$$R_n = U_\phi / i_n.$$

Таблица 9.2 – Нагрузка тока нихромовой проволоки

Диаметр проволоки, мм	Площадь сечения проволоки, мм ²	Нагрузка i_n , А, при температуре, °С								
		100	200	300	400	500	600	700	800	900
0,10	0,00785	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9
0,20	0,0314	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	2,2
0,30	0,0707	0,6	1,0	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,0
0,40	0,1257	1,0	1,5	2,0	2,4	2,7	3,1	3,6	4,1	5,8
0,50	0,1963	1,2	2,0	2,5	3,2	3,6	4,2	4,8	5,4	7,2
0,60	0,2827	1,6	2,5	3,0	4,0	4,6	5,4	6,2	7,1	9,2
0,70	0,3848	1,9	3,0	3,6	4,9	5,8	6,6	7,1	8,8	11,3
0,80	0,5027	2,3	3,6	4,7	5,8	6,9	8,0	9,2	10,5	13,6
0,90	0,7854	3,2	4,7	5,1	7,8	9,3	10,9	12,6	14,4	18,4
1,00	0,6362	2,7	4,1	4,7	6,8	8,1	9,4	11,9	12,4	15,9
1,10	0,7854	3,2	4,7	5,9	7,8	9,3	10,9	12,6	14,4	18,4
1,20	1,3110	4,0	5,9	8,0	9,0	11,9	13,7	16,0	18,7	23,9
1,50	1,7671	5,3	8,0	10,9	13,3	16,1	18,6	21,9	25,6	32,7
2,00	3,1416	7,8	11,9	16,1	19,7	24,0	27,6	32,3	37,9	48,7
2,50	4,9087	10,6	16,4	22,1	26,9	32,5	37,9	44,0	51,4	67,0
3,00	7,0686	14,0	21,2	28,5	34,7	42,1	49,0	57,0	66,0	87,5
4,00	12,5664	22,0	32,2	43,1	53,0	63,5	74,2	86,0	99,0	131,4
4,80	18,0956	29,8	43,0	57,7	71,3	84,8	98,2	113,8	129,3	184,0

Длина нихромового проводника l_n , м,

$$l_n = RS/r ,$$

где R – сопротивление проводника, Ом;

S – площадь поперечного сечения проводника, м²;

r – удельное сопротивление проводника (нихромовой проволоки), Ом·м,

($r = 1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м).

Полная длина нихромовой проволоки данного сечения, м,

$$L = 3nl_n .$$

Задание: выполнить расчет обжарочной печи, если заданы: производительность печи G , кг/с; вид обрабатываемого продукта; способ нагрева масла;

диаметр нихромовой проволоки d , мм; средняя температура активного слоя масла t_2 , °C; масса продукта в одной сетке G_{np} , кг.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Вид обрабатываемого продукта	Производительность печи G , кг/с	Способ нагрева масла	Диаметр нихромовой проволоки d , мм	Температура слоя масла t_2 , °C	Масса продукта в одной сетке G_{np} , кг
1	2	3	4	5	6	7
1	Лук	0,51	Паровой	-	130	0,5
2	Морковь	0,52	То же	-	134	0,5
3	Баклажаны	0,53	«	-	138	0,5
4	Кабачки	0,54	«	-	142	0,5
5	Рыба	0,10	«	-	144	0,5
6	Картофель	0,56	«	-	148	0,5
7	Свекла	0,55	«	-	152	0,5
8	Лук	0,54	Электрический	0,80	186	0,6
9	Морковь	0,51	То же	0,90	160	0,6
10	Баклажаны	0,52	«	1,00	154	0,6
11	Кабачки	0,53	«	1,10	158	0,6
12	Рыба	0,11	«	1,20	176	0,6
13	Картофель	0,55	«	1,50	152	0,6
14	Свекла	0,51	«	2,00	158	0,6
15	Лук	0,52	«	2,50	154	0,7
16	Морковь	0,53	«	3,00	160	0,7
17	Баклажаны	0,54	«	4,00	156	0,7
18	Лук	0,51	Электрический	0,30	161	0,8
19	Морковь	0,52	То же	0,40	143	0,8
20	Баклажаны	0,53	«	0,50	145	0,8
21	Кабачки	0,54	«	0,60	147	0,8
22	Рыба	0,12	«	0,70	179	0,8
23	Картофель	0,52	«	0,80	151	0,8
24	Свекла	0,53	«	0,90	153	0,8
25	Лук	0,54	«	1,00	155	0,9

Контрольные вопросы. 1 В каких отраслях пищевой промышленности и с какой целью используется обжаривание? 2 Какие изменения происходят в картофеле в процессе обжаривания? 3 Каково устройство и принцип действия механизированной паромасляной обжарочной печи? 4 Из каких потерь складывается расход теплоты в обжарочных печах? 5 Каковы основные недостатки обжарочных печей? 6 Какие виды обжарочных печей известны? 7 Из каких основных периодов складывается процесс обжаривания? Охарактеризуйте их.

10 Оборудование для охлаждения и замораживания продуктов и полуфабрикатов

10.1 Практическое занятие № 1

Расчет воздухоохладителя

Цель работы: знакомство с классификацией морозильных аппаратов, изучение их устройства и принципа действия; приобретение практических навыков по расчету воздухоохладителя.

10.1.1 Теоретические сведения

Охлаждение и замораживание пищевых продуктов являются важными технологическими процессами в холодильной обработке пищевых продуктов и во многом определяют их качество.

Сущность процесса охлаждения заключается в понижении температуры пищевых продуктов в результате отвода от них тепловой энергии. Нижний допустимый температурный предел совпадает с криоскопической температурой, при которой в тканях пищевых продуктов начинают образовываться кристаллы льда.

Значение процесса охлаждения обусловлено влиянием низких температур на микробиологические и биохимические процессы, протекающие в пищевых продуктах: при низких температурах прекращается либо резко подавляется развитие микрофлоры пищевых продуктов, а также снижается интенсивность биохимических и ферментативных процессов в них.

Скорость размножения микроорганизмов зависит от температуры. Так, для многих видов психрофильных микроорганизмов время генерации, необходимое для удвоения числа клеток, увеличивается в 1,5 – 2,0 раза при снижении температуры среды всего лишь на 2 °С. Развитие термофильных и мезофильных микроорганизмов, нормально развивающихся при температуре от 20 °С до 30 °С, почти полностью прекращается при низких температурах, близких к криоскопическим (от -1 °С до -3 °С).

Интенсивность биохимических процессов распада и ферментативных процессов, протекающих при посмертном окоченении животных, птицы или рыбы и созревании мясных тканей (автолиза), очень высока при температурах от 20 °С до 35 °С; выделяющаяся в мышечных тканях теплота способна повысить их температуру на несколько градусов и еще более ускорить эти процессы. Для предотвращения порчи свежего мяса, рыбы и птицы, получения высокого качества охлажденных пищевых продуктов необходимо затормозить автолитические процессы на определенной стадии и с этой целью понизить температуру тканей. Высокая интенсивность биохимических и ферментативных процессов в тканях теплокровных и холоднокровных животных обуславливает целесообразность высоких темпов охлаждения.

Интенсивность биохимических процессов в плодах и овощах связана с продолжительностью их хранения: чем выше интенсивность дыхания (метаболических процессов), тем быстрее дозревают и отмирают плоды, снижается содержание витаминов, кислот и других полезных веществ. Интенсивность метаболических процессов экспоненциально снижается с понижением температуры.

Биохимические реакции распада и процессы дыхания особенно интенсивно протекают непосредственно после сбора плодов и овощей. Поэтому их охлаждение должно быть быстрым и проводиться сразу же после сбора.

В промышленном производстве применяются следующие способы охлаждения пищевых продуктов: в газообразной среде (воздух, азот, диоксид углерода), в жидкой среде (вода, рассол), в тающем льде (водоледяная смесь), снегом, вакуумированием, а также при контакте пищевого продукта с холодной поверхностью.

Охлаждение в воздушной среде является наиболее распространенным и универсальным способом охлаждения пищевых продуктов. Длительность охлаждения зависит от начальной температуры продукта, температуры воздуха, скорости движения воздуха, формы и размеров тела, теплофизических свойств продукта.

Различают одно- и двухфазный способы охлаждения продуктов в воздушной среде. При однофазном способе температура воздуха остается постоянной в течение всего процесса охлаждения (не ниже криоскопической температуры). На первой стадии двухфазного способа (стадии охлаждения) температура воздуха поддерживается постоянной и ниже криоскопической (например, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Эта стадия длится до тех пор, пока температура поверхности продукта не снизится до криоскопической. На второй стадии двухфазного способа (стадии доохлаждения) температура охлаждающего воздуха постоянная, но не ниже криоскопической. Эта стадия продолжается, пока температура в центре продукта не понизится до заданной конечной температуры (например, $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Скорость охлаждения продуктов в воздушной среде в значительной степени зависит от скорости движения воздуха вдоль поверхности продукта. При медленном охлаждении скорость движения воздуха равна от 0,1 до 0,2 м/с, при ускоренном – от 0,5 до 0,8 м/с, при быстром и сверхбыстром – от 1,0 до 2,0 м/с.

Газообразная среда охлаждения наиболее широко используется для охлаждения мяса и мясопродуктов, птицы, готовых блюд, плодов и овощей, яиц, масла, молочных продуктов.

Охлаждение пищевых продуктов в жидкой среде осуществляется орошением, погружением и одновременным орошением и погружением. В качестве охлаждающих жидкостей применяют холодную (ледяную) воду, 2 – 4 % раствор поваренной соли, охлажденную морскую воду. Продукты охлаждаются в упакованном виде (в полиэтиленовых пакетах, металлических формах и во флягах) либо при непосредственном контакте с охлаждающей жидкостью. Процесс охлаждения продуктов можно интенсифицировать непрерывной циркуляцией охлаждающей жидкости и увеличением скорости смывания. В жидкой среде охлаждают рыбу, птицу, плоды и овощи.

Для охлаждения свежевывловленной рыбы используют преимущественно тающий лед (естественный или искусственный). Лед различной формы (мелкодробленый, чешуйчатый, прессованный, снежный, пластинчатый или трубчатый) получают с помощью льдодробилок или льдогенераторов.

Охлаждение вакуумированием основано на использовании интенсивного испарения влаги, содержащейся в тканях пищевых продуктов, в разреженное пространство. Потери массы продукта при охлаждении вакуумированием составляют от 1 % до 2 %. Этим способом охлаждают плоды и овощи, салат, шпинат, петрушку.

При контакте пищевого продукта с холодной поверхностью охлаждают в основном жидкие пищевые продукты. Металлическая холодная поверхность представляет собой внешнюю поверхность барабана, шнека или плиты технологического аппарата либо теплопередающую поверхность теплообменника для охлаждения воды, жидких продуктов. Теплота отводится от металлической поверхности холодной водой, рассолом, кипящим холодильным агентом.

В газообразной среде охлаждение пищевых продуктов осуществляют в стационарных холодильных камерах, туннельных холодильных камерах (туннелях), в шкафах интенсивного охлаждения на станциях предварительного охлаждения непосредственно в поле и в садах. Холодильные камеры снабжают охлаждающими приборами – батареями или воздухоохладителями, подвесными путями, конвейерами, этажерочными тележками, контейнерами. Процесс охлаждения в камерах может протекать циклично или непрерывно. В камерах и туннелях применяют системы канального и бесканального воздухораспределения, обеспечивающие равномерное и интенсивное смывание продуктов холодным воздухом. Двухфазное охлаждение чаще всего осуществляют с помощью двух рядом расположенных камер с различными температурами: камеры предварительного охлаждения и камеры доохлаждения.

Охлаждение птицы в жидкой среде погружением производят в ваннах предварительного охлаждения с проточной водопроводной водой и ваннах окончательного охлаждения с ледяной водой; скорость движения воды 0,2 м/с.

При непосредственном контакте с металлической холодной поверхностью охлаждение пищевых продуктов осуществляют в трубчатых, пластинчатых и роторных охладителях. Молоко, сливки и другие жидкие продукты охлаждают на трубчатых оросительных охладителях, в пластинчатых охладителях и охладительных установках.

Охлаждение вакуумированием требует сложного оборудования – вакуумных насосов и вакуумных камер. Размеры последних определяют количество одновременно охлаждаемой продукции.

Сущность процесса замораживания пищевых продуктов заключается в понижении температуры продуктов ниже криоскопической до полного или частичного превращения в лед содержащейся в продукте влаги.

Замораживание предназначено для последующего длительного хранения замороженных продуктов, получения мороженого, льда и отделения вла-

ги от продукта в процессах сублимационной сушки, концентрирования соков.

Относительным количеством вымороженной влаги называют отношение массы льда, образовавшегося в продукте при данной температуре, к общей массе воды, содержащейся в продукте, включая твердую и жидкую фазы. Относительное количество вымороженной влаги является функцией температуры и изменяется от 0 °С при температуре выше криоскопической до 1 °С при полном замораживании продукта. Однако полного замораживания многих продуктов не удается добиться даже при очень низких температурах, и процесс замораживания приостанавливают на промежуточной стадии. В этот момент температурное поле распределено в продукте неравномерно: в центре продукта температура выше, чем у поверхности.

Криогидратной называется наинизшая температура замерзания эвтектического или криогидратного (криогидрат, или эвтектика – это механическая смесь мельчайших кристаллов водного льда и соли, получаемая при замораживании эвтектического раствора) водного раствора соли.

Криоскопическая температура раствора прямо пропорциональна концентрации соли

$$t_{кр} = t_0 - K_{кр}C,$$

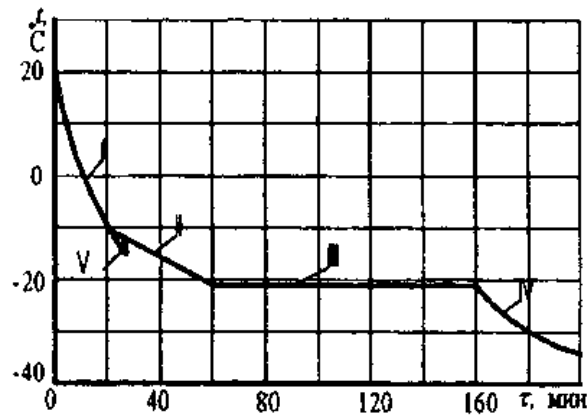
где t_0 – температура замерзания чистого раствора, °С;

$K_{кр}$ – криоскопическая постоянная раствора (для воды $K_{кр} = 1,85$);

C – концентрация соли, моли на 1 кг раствора.

Тканевый сок пищевых продуктов представляет собой диссоциированный коллоидный раствор сложного состава, которому соответствует криогидратная температура от -55 °С до -65 °С, а криоскопическая температура от -0,5 °С до -5,0 °С.

Температурный график замораживания раствора, начальная концентрация которого ниже эвтектической, имеет четыре участка (рисунок 10.1).



I – охлаждение жидкости от начальной до криоскопической температуры;
 II – охлаждение от криоскопической до криогидратной температуры;
 III – затвердевание (замораживание); IV – охлаждение твердой фазы; V – переохлаждение

Рисунок 10.1 – Температурный график замораживания раствора

При охлаждении жидкостей и пищевых продуктов возможно их переохлаждение на несколько градусов ниже криоскопической температуры. Это состояние неустойчиво и при дальнейшем охлаждении нарушается. Если переохлажденная жидкость является чистым веществом, то повышение температуры при нарушении этого состояния происходит до температуры замерзания. Если же кристаллизуется переохлажденный раствор, то температура повышается до температуры, несколько более низкой, чем криоскопическая, так как часть воды вымерзает в процессе выхода раствора из переохлажденного состояния. Во избежание погрешности определения криоскопической температуры по температурным графикам замораживания следует избегать переохлаждения раствора.

Замораживание пищевых продуктов может осуществляться в воздушной среде с естественной побудительной циркуляцией воздуха, в псевдокипящем слое, в жидкой среде (рассоле, пропиленгликоле, жидком азоте), на металлической поверхности, а также в льдосоляной смеси.

Замораживание в воздушной среде является наиболее распространенным способом. Мясо в полутушах замораживается при температуре воздуха минус 30 °С или минус 35 °С. Мясо считается замороженным, если средняя конечная температура достигает от минус 10 °С до минус 15 °С. При однофазном способе замораживания парное мясо помещают сразу в морозильные камеры, а при двухфазном парное мясо предварительно охлаждается (первая фаза), а затем замораживается (вторая фаза). Принудительная циркуляция воздуха в морозильной камере со скоростью движения воздуха от 2 до 3 м/с сокращает длительность замораживания на 3 – 8 ч по сравнению с замораживанием при естественной циркуляции воздуха.

Замораживание продуктов в жидкой среде осуществляется погружением их в холодную жидкость на требуемое время. Тушки птицы, упакованные в пленку, погружаются в раствор хлористого кальция или в пропиленгликоль с $t = -28\text{ °С}$ на 20 – 40 мин.

Замораживание продукта при контакте с холодной металлической поверхностью предназначено для замораживания блоков творога, которые подпрессовываются между двумя морозильными плитами, мяса в блоках, готовых блюд, плодоовощных наборов, соков и пюре из плодов и овощей. При этом способе теплота от замораживаемого продукта передается через металлическую стенку морозильной плиты непосредственно кипящему холодильному агенту или теплоносителю.

Пищевые продукты замораживаются в стационарных камерах замораживания: морозильных камерах и аппаратах.

Камеры замораживания могут быть с естественной и принудительной циркуляцией воздуха, тупиковыми и проходными, периодического и непрерывного действия. Они оснащаются подвесными путями или стоечными поддонами. В камерах с естественной циркуляцией устанавливают пристенные и потолочные охлаждающие батареи, а с принудительной циркуляцией воздуха – воз-

духоохладители и специальные системы воздухораспределения. Широко применяют морозильные камеры туннельного типа.

Морозильные аппараты бывают воздушными, плиточными и контактными.

Воздушный морозильный аппарат является универсальным аппаратом и представляет собой теплоизолированный туннель, внутри которого размещены охлаждающие батареи, вентиляторы и транспортирующие средства (конвейер или тележки).

Плиточные морозильные аппараты предназначены для замораживания упакованных продуктов, например готовых блюд, рыбного филе, мяса в блоках, плодоовощных наборов. Как правило, плиточные морозильные аппараты имеют систему непосредственного охлаждения. Замораживание в контактных аппаратах проводят методом орошения или погружения.

Разработан способ холодильной обработки, получивший название подмораживания. Сущность способа заключается в охлаждении продуктов на 1 – 2 °С ниже их криоскопической температуры и в хранении продуктов в подмороженном состоянии при этой температуре.

Подмороженные продукты мало уступают по качеству охлажденным, но продолжительность хранения в 2 раза больше. Подмороженные продукты приобретают жесткость, их можно складировать в штабеля, что удобно при транспортировке и хранении. Подмораживание является с энергетической точки зрения более выгодным, чем замораживание, но уступает ему по допустимым срокам хранения.

10.1.2 Методика расчета

Вычисляем энтальпию h_1 , кДж/кг, и влагосодержание d_1 , кг/кг воздуха, входящего в воздухоохладитель

$$h_1 = h_{c1} + h''_{n1} j_1; d_1 = j_1 d''_1,$$

где h_{c1} , h''_{n1} и d''_1 – определяют из таблицы свойств влажного воздуха при температуре $t = t_1$ (таблица 10.1).

Вычисляем энтальпию h_2 , кДж/кг, и влагосодержание d_2 , кг/кг воздуха, выходящего из воздухоохладителя

$$h_2 = h_{c2} + h''_{n2} j_2; d_2 = j_2 d''_2,$$

где h_{c2} , h''_{n2} и d''_2 – определяем из таблицы свойств влажного воздуха при температуре $t = t_2$ (таблица 10.1).

Таблица 10.1 – Параметры влажного воздуха ($p = 100$ кПа)

$t, ^\circ\text{C}$	$d'', \text{г/кг}$	$h_c, \text{кДж/кг}$	$h''_n, \text{кДж/кг}$	$r_c, \text{кг/м}^3$	$r_e, \text{кг/м}^3$
-50	0,02405	-50,24	1,562	1,562	1,0061
-40	0,07713	-40,02	1,495	1,495	1,0061
-30	0,2323	-29,61	1,434	1,434	1,0064
-20	0,6408	-18,54	1,377	1,377	1,0072
-10	1,618	-6,04	1,325	1,325	1,0090
0	3,823	9,561	1,276	1,273	1,0131
4	5,098	16,81	1,258	1,254	1,0155
8	6,741	25,01	1,240	1,235	1,0186
12	8,841	34,38	1,223	1,216	1,0225
16	11,511	45,23	1,206	1,197	1,0275
20	14,883	57,90	1,189	1,179	1,0339
24	19,121	72,83	1,173	1,160	1,0416
28	24,425	90,54	1,158	1,141	1,0510
32	31,043	111,69	1,142	1,122	1,0642
36	39,281	137,11	1,128	1,102	1,0792
40	49,524	167,82	1,113	1,082	1,0999
44	62,267	205,14	1,099	1,061	1,1274
48	78,143	250,76	1,085	1,039	1,1524

Удельный объем влажного воздуха, м³/кг,

$$v_1 = 1 / \rho_c ,$$

где ρ_c – плотность сухого воздуха, кг/м³ (таблица 10.1)

Средние параметры (температура t_g , °С, энтальпия h_g , кДж/кг, влагосодержание d_g , кг/кг) воздуха в аппарате

$$t = 0,5(t_1 + t_2);$$

$$h_g = 0,5(h_1 + h_2);$$

$$d_g = 0,5(d_1 + d_2).$$

Массовый расход проходящего через аппарат воздуха, кг/с,

$$G = Q_0 / (h_1 - h_2).$$

Объемный расход воздуха, м³/с,

$$V = G v_1.$$

Количество влаги, отнимаемой от воздуха в аппарате, кг/с,

$$W_0 = G(d_1 - d_2).$$

Коэффициент конвективной теплоотдачи от воздуха к ребренной поверхности α_g рассчитываем по формуле для поперечного обтекания ребристого пучка. Для коридорного расположения труб с круглыми ребрами она имеет вид

$$Nu_g = 0,15 C_z C_s Re_g^{0,72} (d/S_p)^{0,54} (h/S_p)^{-0,14}.$$

Принимаем $C_z = 1$ и $C_s = 1$.

Находим теплофизические свойства воздуха при t_g , (таблица 10.2);
 $\eta = 12,4 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\lambda = 2,27 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К).

Таблица 10.2 – Физические свойства сухого воздуха при $p = 100$ кПа

$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda \cdot 10^{-2}, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	$\eta \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$
-50	2,04	9,23
-40	2,12	10,06
-30	2,20	10,80
-20	2,28	11,79
-10	2,36	12,43
0	2,44	13,28
10	2,51	14,16
20	2,59	15,06
30	2,67	16,00
40	2,76	16,96
50	2,83	17,95
60	2,90	18,97
70	2,96	20,02
80	3,05	21,09
90	3,13	22,10
100	3,21	23,13
120	3,34	25,45
140	3,49	27,80
160	3,64	30,09

Критерий Рейнольдса

$$\text{Re}_\theta = w S_p / \eta .$$

Коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$,

$$a_\theta = \text{Nu}_\theta \lambda / S_p .$$

Коэффициент влаговываждения

$$x = 1 + 2800 \frac{d_\theta - d_w''}{t_\theta - t_w} ,$$

где d_w'' – влагосодержание воздуха при $j = 100$ %, $d_w'' = 0,351 \cdot 10^{-3}$ кг/кг;

t_w – температура воздуха при $j = 100$ %, $t_w = -25$ °С.

Коэффициент теплоотдачи с учетом влаговываждения, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$,

$$a'_\theta = a_\theta x .$$

Находим коэффициент эффективности ребра

$$E = \frac{th(mh')}{mh'},$$

где $th(mh')$ – гиперболический тангенс функции (mh')

$$th(mh') = \frac{e^{mh'} - e^{-mh'}}{e^{mh'} + e^{-mh'}}.$$

Для этого вычисляем параметры m , m^{-1} и h' , м,

$$m = \sqrt{2a'_6 / (ld)},$$

$$h' = h \left[1 + 0,35 \ln(R/r_0) \right],$$

где R – радиус ребра, м, $R = r_0 + h$;

r_0 – наружный радиус трубки воздухоохладителя, м, $r_0 = d_0/2$.

Определяем приведенный коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха.

Для этого находим $F_{вн1}$, $F_{о1}$, $F_{мп1}$, $F_{р1}$ и $F_{оп1}$ для 1 м трубки, учитывая, что при шаге ребер $S_p = 15$ мм число ребер на 1 м $n_p = 66$, м²/м;

$$F_{вн1} = p(d_0 - 2m);$$

$$F_{о1} = p d_0;$$

$$F_{мп1} = p d_0 (1 - n_p d);$$

$$F_{р1} = 2p(R^2 - r_0^2)n_p;$$

$$F_{оп1} = F_{р1} + F_{мп1}.$$

Коэффициент теплоотдачи, приведенный к F_0 , Вт/(м²·К),

$$a_{про} = a'_6 \left(\frac{F_{р1}}{F_{о1}} E + \frac{F_{мп1}}{F_{о1}} \right)$$

Принимаем, что средняя температура оребренной поверхности равна t_w . Тогда плотность теплового потока, отнесенная к основной поверхности трубки, Вт/м²,

$$q_0 = a_{про} q_p / E,$$

здесь

$$q_p = t_e - t_w.$$

Плотность теплового потока, отнесенного к внутренней поверхности трубки, Вт/м²,

$$q_{вн} = q_0 d_o / (d_o - 2m).$$

Коэффициент теплоотдачи кипящего аммиака, Вт/(м²·К), учитывая, что величине $q_{вн}$ соответствует область неразвитого кипения, вычисляем по формуле

$$a = 74 q_{вн}^{0,2} (d_o - 2m)^{-0,2}.$$

Термическое сопротивление стенки трубки и слоя масла со стороны аммиака $\sum \frac{d_i}{l_i}$, м²·К/Вт,

$$\sum \frac{d_i}{l_i} = \frac{d_m}{l_m} + \frac{m}{l_{тр}},$$

где $l_{тр}$ – коэффициент теплопроводности стальной трубки, $l_{тр} = 45$ Вт/(м·К).

Тогда коэффициент теплопередачи, отнесенный к основной поверхности, Вт/(м²·К),

$$k_o = \frac{1}{\left(\frac{1}{a_a} + \sum \frac{d_i}{l_i} \right) \frac{F_{o1}}{F_{вн}} + \frac{1}{a_{про}}}.$$

Средняя разность между температурами воздуха и холодильного агента (средний температурный напор), °С,

$$q_m = q_o / k_o .$$

Температуру кипения холодильного агента находим, принимая $q_m = t_g - t_n$, что допустимо в связи с небольшим перепадом температур воздуха, на входе в аппарат и выходе из него. При этом температура кипения, °С,

$$t_n = t_g - q_m .$$

Наружная площадь трубок аппарата F_o , м²,

$$F_o = Q_o / q_o .$$

Внутренняя площадь трубок аппарата, м²,

$$F_{вн} = Q_o / q_{вн} .$$

Длина трубок аппарата L , м,

$$L = F_o / (p d_0) .$$

Общая наружная площадь аппарата с учетом ребер и неоребранных участков трубы, м²,

$$F_{op} = F_{вн} b ,$$

где b – коэффициент оребрения,

$$b = F_{op1} / F_{вн1} = 8,13 .$$

Аэродинамическое сопротивление трубчато-ребристого воздухоохладителя с пластинчатыми ребрами и коридорным расположением труб определяем по опытной зависимости

$$\Delta p = AB (L/d_0) (w r_g)^{1,7} ,$$

где A – постоянный коэффициент (при тщательном выполнении поверхностей $A = 0,075$);

B – коэффициент, учитывающий влияние капель конденсата на аэродинамическое сопротивление ($B = 1,8$);

ρ_g – плотность влажного воздуха, принятая при температуре $t = t_g$, кг/м³
(таблица 10.1).

Задание: выполнить расчет ребристого воздухоохладителя, если заданы: диаметр $d_0 = 32$ мм и толщина стенки $m = 2,5$ мм стальных труб; расположение труб в пучке коридорное; ребра круглые, стальные, высота $h = 25$ мм, толщина $\delta = 1$ мм, шаг $S_p = 15$ мм (рисунок 10.2); на стенках трубок имеются загрязнения в виде слоя масла [$\lambda_m = 0,16$ Вт/(м·К)] толщиной $\delta_m = 0,1$ мм; холодопроизводительность Q_0 , кВт; температура воздуха, входящего в аппарат, t_1 , °С; его относительная влажность j_1 , %; температура воздуха, выходящего из него, t_2 , °С; его относительная влажность j_2 , %; скорость движения воздуха в воздухоохладителе w , м/с; холодильный агент – аммиак; давление воздуха $p = 100$ кПа.

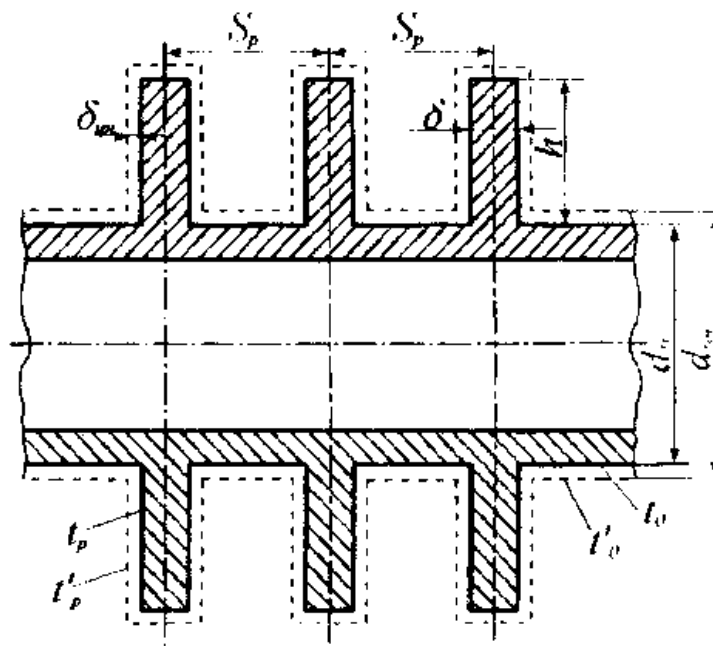


Рисунок 10.2 – Схема оребренной трубки при наличии инея (пунктир – поверхность инея)

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 10.3.

Таблица 10.3 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Q_0 , кВт	t_1 , °C	j_1 , %	t_2 , °C	j_2 , %	w , м/с
1	56,2	-19,3	89,1	-22,1	94,7	4,1
2	56,4	-19,4	89,2	-22,2	94,8	4,2
3	56,6	-19,5	89,3	-22,3	94,9	4,3
4	56,8	-19,6	89,4	-22,4	95,0	4,4
5	57,0	-19,7	89,5	-22,5	95,1	4,5
6	57,2	-19,8	89,6	-22,6	95,2	4,6
7	57,4	-19,9	89,7	-22,7	95,3	4,7
8	57,6	-20,0	89,8	-22,8	95,4	4,8
9	57,8	-20,1	89,9	-22,9	95,5	4,9
10	58,0	-20,2	90,0	-23,0	95,6	5,0
11	58,2	-20,3	90,1	-23,1	95,7	5,1
12	58,4	-20,4	90,2	-23,2	95,8	5,2
13	58,6	-20,5	90,3	-23,3	95,9	5,3
14	58,8	-20,6	90,4	-23,4	96,0	5,4
15	59,0	-20,7	90,5	-23,5	96,1	5,5
16	56,5	-20,8	88,3	-22,4	96,2	4,4
17	56,7	-20,9	88,4	-22,5	96,3	4,5
18	57,1	-21,0	89,5	-22,6	96,4	4,6
19	57,3	-21,1	89,6	-22,7	96,5	4,7
20	57,5	-21,2	89,7	-22,8	96,6	4,8
21	57,7	-21,3	89,8	-22,9	96,7	4,9
22	57,9	-21,4	89,9	-23,0	96,8	5,0
23	58,1	-21,5	90,1	-23,1	96,9	5,1
24	58ЮЗ	-21,6	90,2	-23,2	96,3	5,2
25	58,5	-21,7	90,3	-23,3	96,4	5,3

Контрольные вопросы. 1 С какой целью проводят охлаждение пищевых продуктов? 2 Какие способы охлаждения известны? 3 Какое оборудование используют для охлаждения продуктов? 4 С какой целью проводят замораживание продуктов? 5 Какое оборудование используют для замораживания продуктов? 6 Что называют криоскопической и криогидратной температурой? 7 Какие факторы влияют на продолжительность охлаждения и замораживания? 8 Какие способы замораживания известны?

11 Оборудование для проведения микробиологических процессов

11.1 Практическое занятие № 1

Расчет дрожжерастительного аппарата

Цель работы: изучение теоретических основ процесса производства дрожжей; знакомство с классификацией дрожжерастительных аппаратов и воздухораспределительных систем, устройством и принципом работы дрожжерастительных аппаратов.

11.1.1 Теоретические сведения

В дрожжевой промышленности действует несколько схем выращивания дрожжей. Различия между ними заключаются в периодичности или непрерывности процессов, кратности разбавления сырья, количестве стадий, скорости роста, уровне технологических параметров (температура, рН, величина засевов) и др.

Все существующие схемы предусматривают постоянное выращивание биомассы. Процесс обычно ведется в три генерации:

- генерация А - маточные дрожжи чистой (ЧК) и естественно чистой (ЕЧК) культуры;
- генерация Б - засевные дрожжи;
- генерация В - товарные дрожжи.

Процесс роста культуры характеризуется четырьмя фазами динамики роста: лаг-фаза (исходная); логарифмическая; стационарная и фаза спада.

Лаг-фаза. Является подготовительным периодом к последующей фазе логарифмического роста и длится около часа. Характеризуется очень сложными

ферментативными процессами, чрезвычайно чувствительными к составу среды, ее температуре и активной кислотности. В этой фазе увеличивается объем дрожжевых клеток, синтезируются нуклеиновые кислоты и аккумулируется энергия для дальнейшего активного накопления биомассы.

Логарифмическая фаза или фаза экспоненциального роста. В этой наиболее продуктивной фазе культура находится в состоянии сбалансированного логарифмического роста. Логарифмическая кривая позволяет вывести математические законы роста культуры и определить удельную скорость роста, необходимую длительность цикла, ожидаемый почасовой прирост и засев. Для протекания процесса с расчетной скоростью с нею должна быть сбалансирована и подача питания. Питательная среда наряду с дающими энергию субстратами (углеводы, азот и пр.) должна содержать все необходимые биогенные макро- и микроэлементы, стимулирующие рост дрожжей. Фаза логарифмического роста ограничена во времени. Темп роста падает по мере увеличения доли старых, ослабевших и отмерших клеток, а также по мере накопления в среде продуктов жизнедеятельности культуры. Через 8 – 10 ч процесс переходит в стационарную фазу.

Стационарная фаза. Характеризуется постепенным замедлением темпа роста. Доля отмирающих клеток увеличивается, и воспроизводство новых замедляется. Наступает фаза спада.

Фаза спада. В этой фазе количество отмирающих клеток превосходит число растущих.

Цели аэрации: снабжение клеток кислородом, удаление образующегося диоксида углерода, быстрая доставка к клеткам добавляемых питательных веществ и поддержание дрожжевых клеток во взвешенном состоянии. Основная задача – снабжение дрожжей кислородом, растворенным в жидкости. При уменьшении количества кислорода выход дрожжей пропорционально снижается. Подача воздуха в дрожжерастильный аппарат должна соответствовать подаче сахара и ожидаемой скорости размножения дрожжей. При недостатке воздуха

наступает перестройка дрожжевых клеток в сторону анаэробного обмена, это увеличивает образование спирта и других побочных продуктов. Выход биомассы резко падает. При избытке кислорода темп размножения клеток уменьшается в связи с увеличением расхода сахара на образование диоксида углерода.

Дрожжерастильные аппараты имеют сходное устройство и отличаются конструкцией систем аэрации и охлаждения. Аппараты представляют собой вертикальные цилиндрические резервуары с эллиптической крышкой и плоским днищем из нержавеющей стали, снабженные аэрационной системой, охлаждающим устройством и моющим механизмом. На крышке размещены смотровое стекло, люк, труба для отвода воздуха и патрубки для подвода питательной среды, пеногасителя, серной кислоты, аммиачной воды, пара на пропаривание аппарата, воды к моющим устройствам.

Современные дрожжерастильные аппараты должны удовлетворять следующим требованиям.

1 Интенсивная аэрация и перемешивание всего объема жидкости. Это гарантирует высокую скорость переноса кислорода воздуха в системе газ-жидкость-дрожжевая клетка, доставку в околочлеточную зону питательных веществ, отвод из нее продуктов метаболизма и теплоты, образующейся в процессе окисления питательных веществ внутри клетки. Для эффективного осуществления процессов массо- и теплообмена требуется определенное количество воздуха, постоянно подаваемого под давлением в дрожжерастильный аппарат через аэрационную систему. Она должна обеспечивать равномерное распределение воздуха по всему объему культуральной среды в виде отдельно всплывающих вверх пузырьков. От их размера и количества зависит площадь поверхности и скорость массообмена.

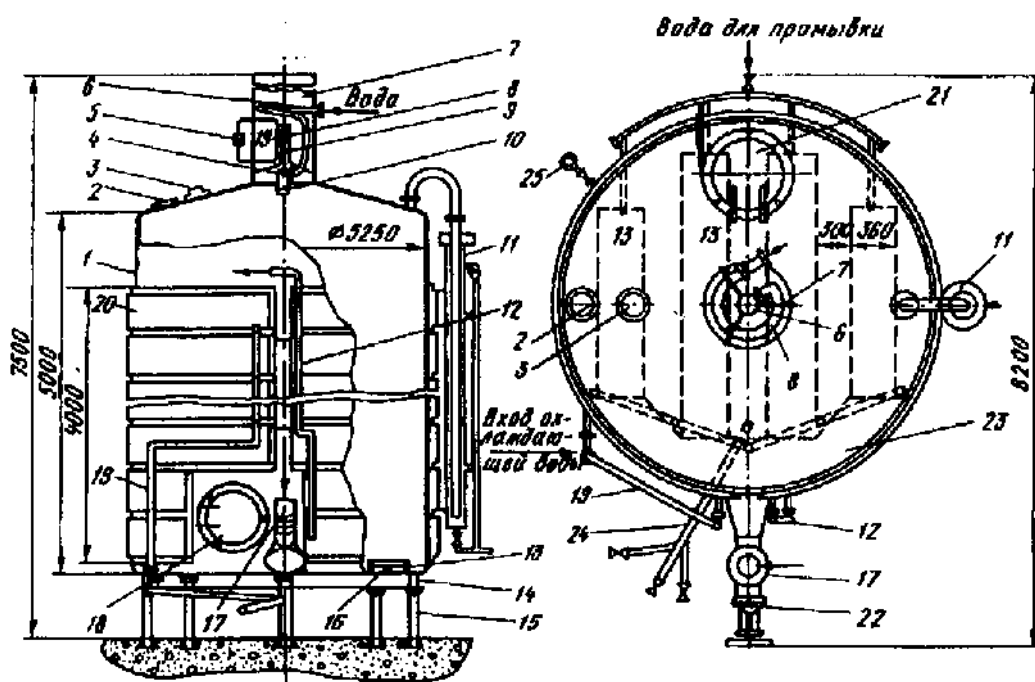
2 Простота, удобство в обслуживании, долговечность и надежность, минимальное гидравлическое сопротивление аэрационной системы.

3 Эффективность системы охлаждения культуральной среды.

4 Доступность для качественной мойки и дезинфекции внутренних устройств и стенок аппарата. С этой целью используются различные форсунки. Внутренняя поверхность аппарата должна быть полированной.

5 Стерилизуемость и герметичность аппарата.

Наибольшее распространение получили аппараты ВДА (рисунок 11.1), которые представляют собой цилиндрический резервуар, смонтированный с уклоном 1:100 в сторону вывода коммуникаций.



1 – цилиндрический резервуар; 2 – смотровое окно; 3 – осветитель; 4 – муфта; 5 – четырехходовой кран; 6 – шланг; 7 – вытяжная труба; 8 – цилиндр; 9 – шток; 10 – заслонка; 11 – гидрозатвор; 12 – коллектор для отвода воды; 13 – распределительные короба; 14 – балки; 15 – стойки; 16 – сопла; 17 – труба для подвода воздуха; 18, 21 – люки; 19 – коллектор для подвода воды; 20 – охлаждающая рубашка; 22 – вентиль; 23 – коллектор; 24 – спускная труба; 25 – мерное стекло

Рисунок 11.1 – Дрожжерастильный аппарат ВДА

Резервуар 1 с охлаждающей рубашкой 20, состоящий из десяти секций (поясов), установлен на балках 14 и стойках 15. Аппарат снабжен люками 18 и 21 для обслуживания и ремонта, смотровым окном 2, осветителем 3, гидроза-твором 11 для перекачивания дрожжевой суспензии под давлением не более 0,04 МПа, воздухоподводящей трубой 17, коробами 13 аэрационной системы, соплами 16 для промывки коробов, коллектором 19 для подвода воды в секции охлаждающей рубашки.

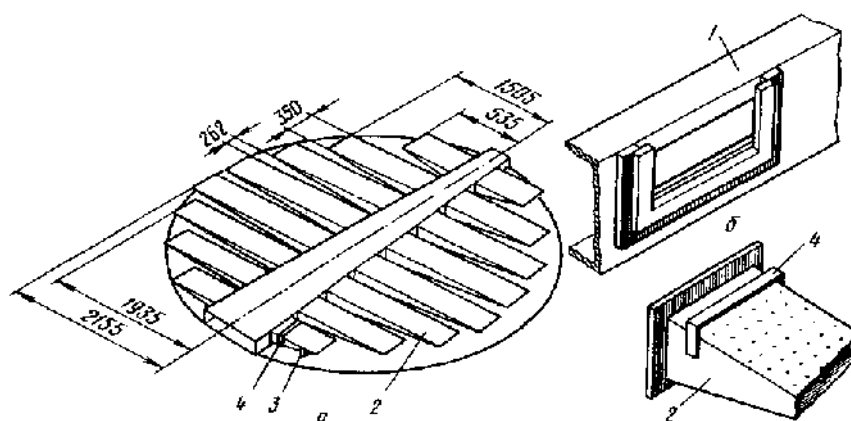
На крышке аппарата установлена вытяжная труба 7, перекрываемая заслонкой 10. Заслонка соединена муфтой 4 со штоком 9, несущим движущийся в цилиндре 8 поршень. Поршень перемещается гидравлическим приводом, снабженным четырехходовым краном 5. По шлангу 6 поступает вода для промывки. Вентиль 22 регулирует подачу воздуха из распределительного коллектора 23.

Культуральная среда опускается по трубе 24. За уровнем жидкости в аппарате наблюдают через мерное стекло. Каждый пояс охлаждающей рубашки имеет в нижней точке штуцер для входа охлаждающей воды и в верхней точке штуцер для ее выхода. Пояса соединены параллельно. Таким образом, вода в каждом поясе омывает обечайку аппарата с внешней стороны по ее образующей и через стенку аппарата отводит теплоту.

В дрожжерастильных аппаратах применяются следующие типы воздухо-распределительных систем: пластинчатая, трубчатая, тарельчатая и лопастная.

Аппараты ВДА имеют пластинчатую аэрационную систему. Воздуходувка подает воздух по трубе 17 в распределительный коллектор 23 и далее в короба 13, под перфорированные пластины с отверстиями диаметром 0,5 мм.

В пластинчатой аэрационной системе (рисунок 11.2) к каждому воздухо-распределительному коллектору 1, приваренному к днищу аппарата, присоединяются с боковых сторон по восемь съемных коробов 2 с отверстиями в верхней части для выхода воздуха.

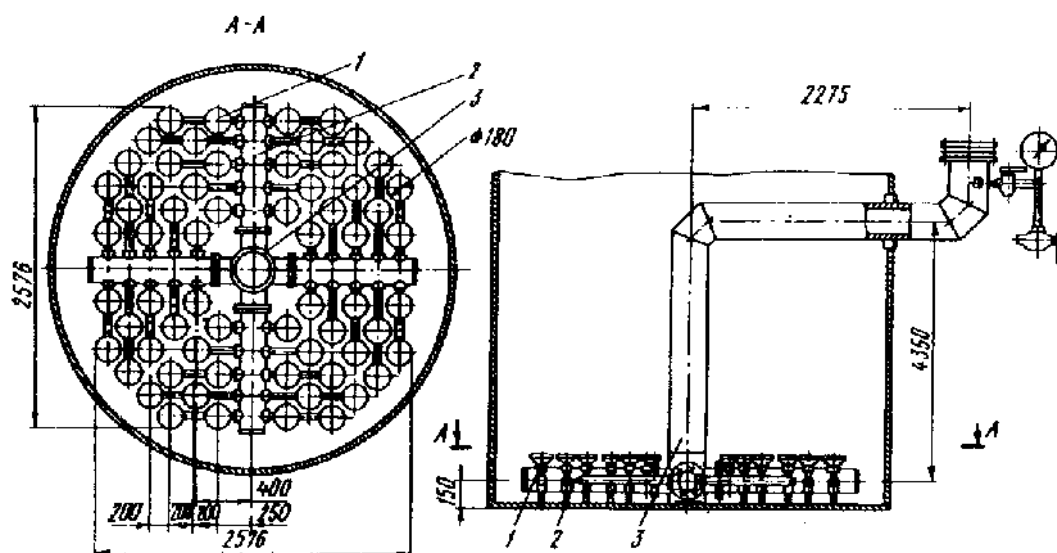


а – общий вид системы; б – узел крепления короба; 1 – воздухораспределительный коллектор; 2 – короба; 3, 4 – скобы

Рисунок 11.2 – Пластинчатая аэрационная система

Коллектор 1 и короба 2 имеют переменное сечение для более равномерного распределения воздуха. Число отверстий в коробах 10900, диаметр 3 мм, шаг отверстий 25 мм. Короба 2 отсоединяют от коллектора 1 с помощью скоб 4.

Одна из перспективных воздухораспределительных систем – тарельчатая аэрационная система (рисунок 11.3).

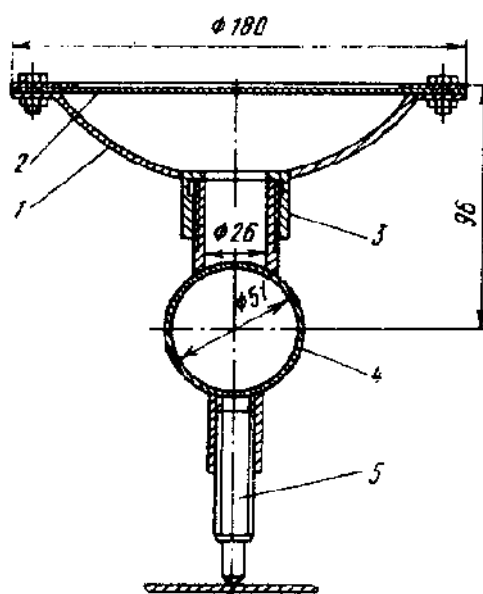


1 – тарельчатые аэраторы; 2 – распределительные трубки; 3 – центральный воздуховод

Рисунок 11.3 – Тарельчатая аэрационная система

Она состоит из 64 тарельчатых аэраторов общей площадью $0,865 \text{ м}^2$, к которым по воздуховоду диаметром $0,25 \text{ м}$ через распределительные патрубки подводится воздух под давлением $0,04 \text{ МПа}$.

Аэратор (рисунок 11.4) представляет собой штампованную тарелку 1, закрытую сверху сеткой 2 с размером ячейки $0,4 \text{ мм}$. Резьбовой втулкой 3 он соединен с распределительным патрубком 4. Стойка 5 опирается на днище дрожжерастильного аппарата.

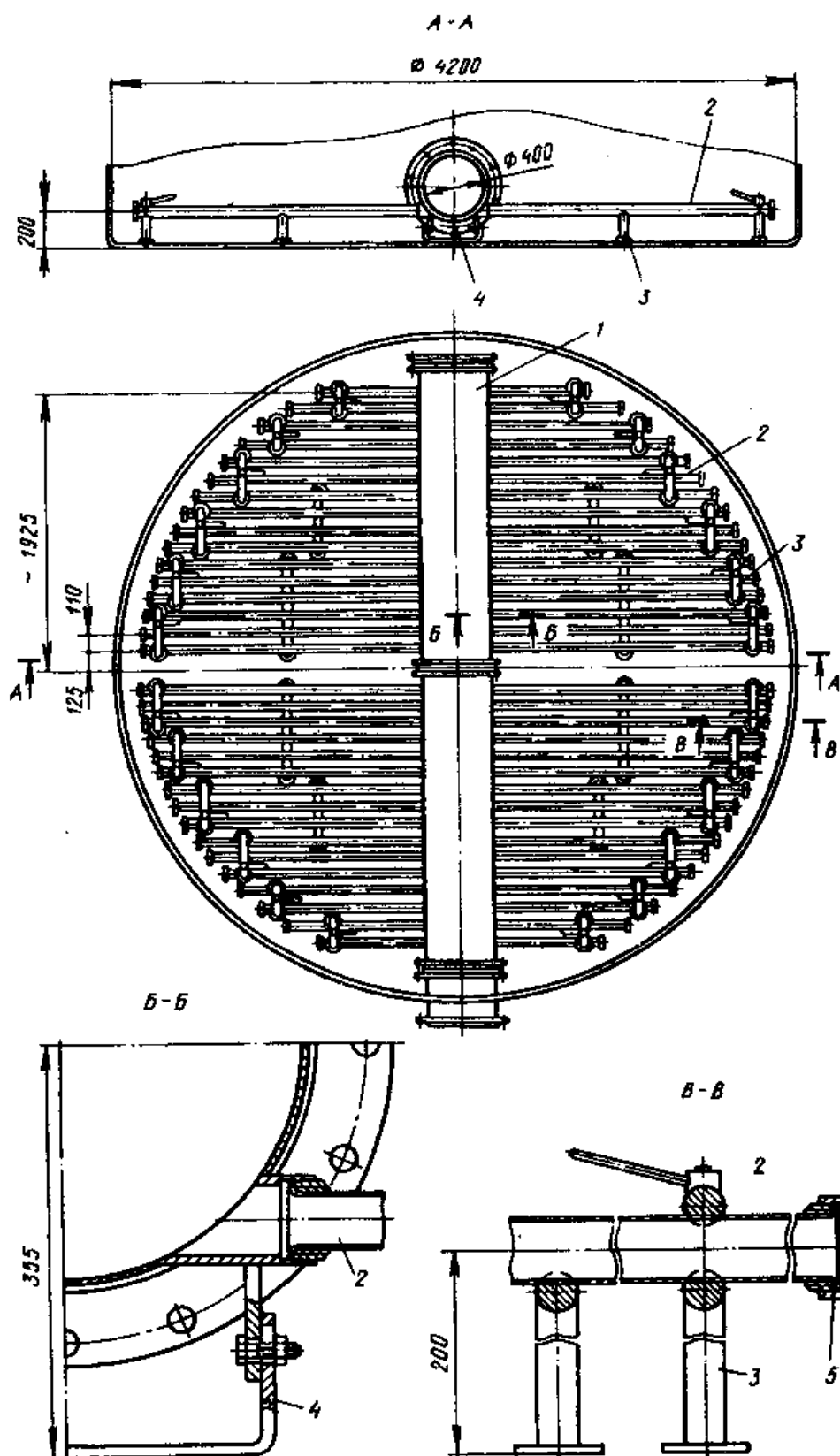


1 – тарелка; 2 – сетка; 3 – резьбовая втулка; 4 – распределительный патрубок;
5 – стойка

Рисунок 11.4 – Тарельчатый аэратор

Трубчатая аэрационная система (рисунок 11.5) состоит из перфорированных трубок, расположенных по всему днищу аппарата с определенным шагом. В поперечном сечении трубки имеют 7 рядов отверстий диаметром от $0,8$ до $0,9 \text{ мм}$, расположенных через 15° , шаг отверстий в ряду 5 мм .

Трубки соединяются с воздухораспределительным коллектором и монтируются на специальных опорах. Систему периодически разбирают для мойки и дезинфекции.



1 – распределительный коллектор, 2 – трубки; 3 – опоры трубок; 4 – опоры коллектора; 5 – накидная гайка

Рисунок 11.5 – Трубчатая аэрационная система

11.1.2 Методика расчета

Тепловой расчет

Тепловой баланс аппарата

$$Q_{биол} = Q_v + Q_{возд} + Q_{nut} + Q_{изл}, \quad (11.1)$$

где $Q_{биол}$ – количество теплоты, выделяемое при выращивании дрожжей, кДж;

$$Q_{биол} = c_{др} m';$$

$c_{др}$ – среднее удельное тепловыделение дрожжей при их выращивании,

$$c_{др} = 4171 \text{ кДж/кг};$$

m' – прирост дрожжей, кг/ч;

Q_v – теплота, отводимая водой, подаваемой на охлаждение, кДж;

$Q_{возд}$ – теплота, отводимая воздухом, подаваемым на аэрирование, кДж;

Q_{nut} – суммарное количество теплоты, расходуемое на нагревание доливаемой в аппарат воды $Q_{вд}$, мелассной рассиропки Q_m и растворов солей Q_c , кДж,

$$Q_{nut} = Q_{вд} + Q_m + Q_c;$$

$Q_{изл}$ – количество теплоты, отводимой за счет теплоизлучения, кДж.

Потери теплоты на нагревание доливаемой в аппарат воды, мелассной рассиропки и растворов питательных солей можно принять примерно 25 % от $Q_{биол}$. Потери теплоты за счет теплоизлучения в окружающую среду принимаем 1 % от $Q_{биол}$. Тогда (11.1) принимает вид

$$Q_{биол} = (Q_v + Q_{возд}) / 0,74.$$

Количество теплоты $Q_{возд}$, кДж, уносимой из аппарата воздухом,

$$Q_{возд} = V_{возд} (I_2 - I_1),$$

где $V_{\text{возд}}$ – объемный расход воздуха через аппарат, $\text{м}^3/\text{ч}$;

I_1 , I_2 – энтальпия соответственно входящего и выходящего из аппарата воздуха, кДж/кг (I_1 и I_2 определяются с помощью $I-d$ – диаграммы на рисунке 11.6).

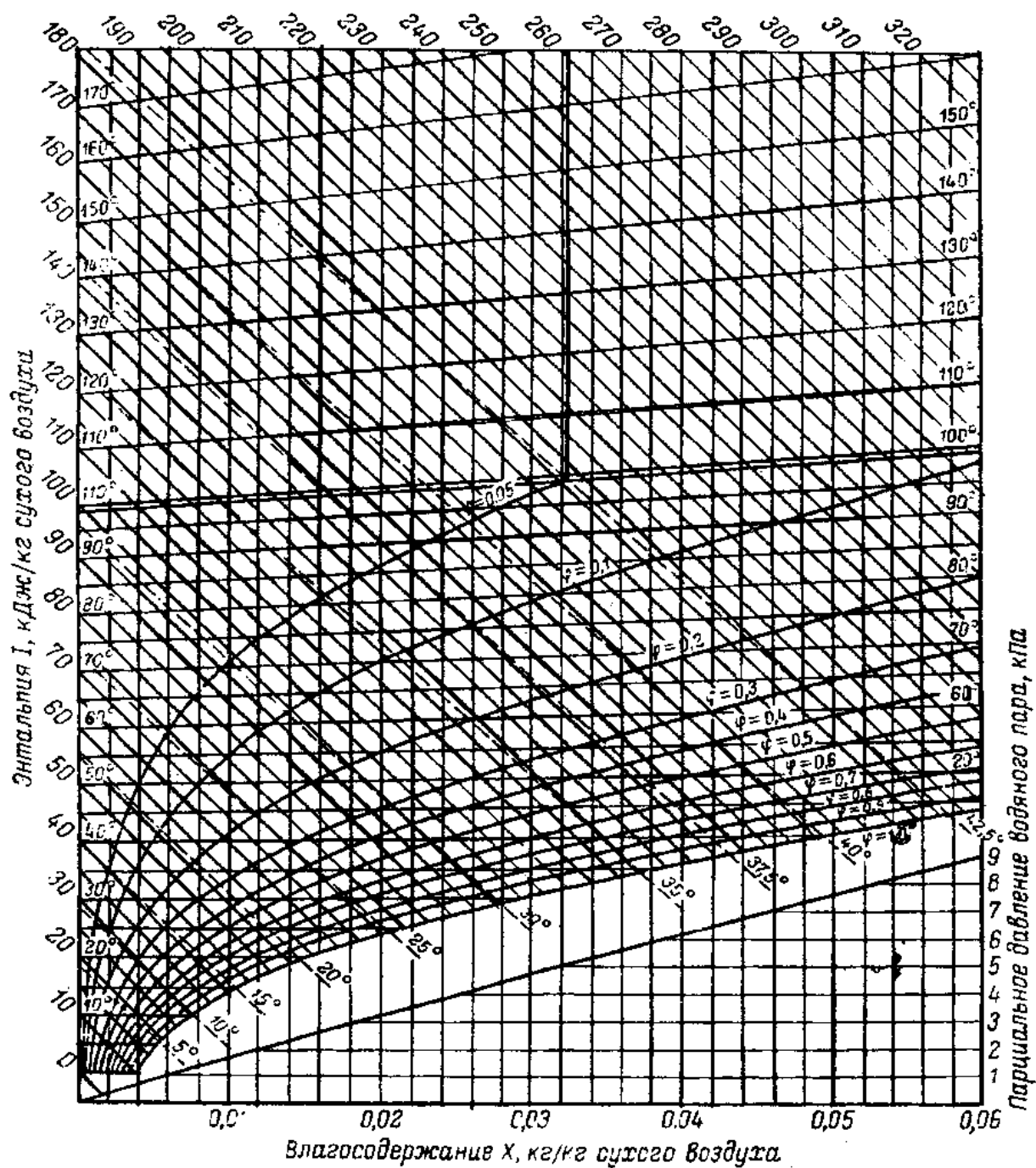


Рисунок 11.6 – $I-d$ – диаграмма для влажного воздуха при давлении 100 кПа

Количество теплоты, отводимой водой, кДж,

$$Q_в = Q_{биол} - Q_{возд} - Q_{пит} - Q_{изл}.$$

Расход воды для отвода теплоты, м³/ч,

$$V_в = Q_в / [c(T_к - T_н) \rho],$$

где c – удельная теплоемкость воды, $c = 4,187$ кДж/(кг·К);

$T_н$, $T_к$ – температура воды на входе в аппарат и выходе из него

ρ – плотность воды, $\rho = 1000$ кг/м³.

Необходимая площадь поверхности охлаждения аппарата, м²,

$$F = Q_в / (3,6k\Delta T_{ср}),$$

где k – коэффициент теплопередачи от охлаждающей воды к охлаждаемой среде, Вт/(м²·К);

$\Delta T_{ср}$ – средняя разность температур, К.

Средняя разность температур (в расчете принять температуру культуральной жидкости $T^{жс} = T_2$):

$$\Delta T_б = T_2 - T_н$$

$$\Delta T_м = T_к - T_2,$$

при $\Delta T_б / \Delta T_м < 2$

Расчет трубчатой воздухораспределительной системы

Диаметр нагнетательного воздуховода, м,

$$D = \sqrt{4V_{возд} / (3600\rho v \rho_в)},$$

где v – скорость воздуха в воздуховоде, м/с ($v = 14 - 17$ м/с);

$\rho_в$ – плотность воздуха, кг/м³ (таблица 10.1).

Диаметр воздухораспределительного коллектора также принять равным D .

Суммарную площадь отверстий в воздухораспределительных трубках, м^2 , принимают равной площади сечения коллектора:

$$F_{отв} = \rho D^2 / 4.$$

Скорость воздуха на выходе из отверстия воздухораспределительных трубок, м/с ,

$$v_{отв} = V_{возд} / (3600 F_{отв}).$$

Диаметр отверстия в воздухораспределительных трубках примем $d = 0,8$ мм. Тогда количество отверстий n , шт., в трубках

$$n = 4 F_{отв} / (\rho d^2).$$

Принимаем наружный диаметр трубки 51 мм, толщину стенки 1,5 мм.

В поперечном сечении трубки размещено 7 рядов отверстий через 15° , по длине отверстия располагаются с шагом 5 мм. Число отверстий, приходящихся на 1 м длины, равно $z_1 = 1400$ отверстий.

Тогда общая длина трубок, м,

$$l_{общ} = n / 1400.$$

Из равенства

$$F_{сист} = 2 R_{сист} l_{ср} = \rho R_{сист}^2 / 2,$$

где $F_{сист}$ – площадь аэрационной системы, м^2 ;

$R_{сист}$ – радиус аэрационной системы, м;

$l_{ср}$ – средняя длина трубок, м;

имеем

$$l = 2 \rho R_{сист} / 8 = 0,786 R_{сист}.$$

При расстоянии между концами трубок и обечайкой аппарата 150 мм и диаметре коллектора D радиус аэрационной системы, м,

$$R_{сист} = D_{ан} - 2 \cdot 0,15 - D.$$

Количество трубок, шт.,

$$n_{mp} = l_{общ} / l_{cp} \cdot$$

Расстояние между трубками, м, по осям

$$R_{oc} = 4R_{сисм} / n_{mp} \cdot$$

Длина каждой трубки, м,

$$l_z = \sqrt{(2R - zR_{oc}) zR_{oc}} \cdot$$

где z – порядковый номер трубки в четверти окружности аэрационной системы.

Задание: выполнить расчет дрожжерастильного аппарата, если заданы: T_1 – температура входящего в аппарат воздуха, К; j_1 – относительная влажность входящего в аппарат воздуха, %; T_2 – температура уходящего из аппарата воздуха, К; j_2 – относительная влажность уходящего из аппарата воздуха, $j_2 = 100$ %; $V_{возд}$ – объемный расход воздуха в аппарате, м³/ч; T_n , T_k – температура воды на входе в аппарат и выходе из него, К; k – коэффициент теплопередачи от охлаждающей воды к охлаждаемой культуральной среде, Вт/(м²·К); m' – прирост дрожжей, кг/ч.

Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 11.1.

Контрольные вопросы. 1 Каковы основные фазы динамики роста дрожжей? 2 Какова классификация воздухораспределительных систем дрожжерастильных аппаратов? 3 Каковы основные требования, предъявляемые к дрожжерастильным аппаратам? 4 В чем заключается сущность аэрации? 5 Каковы устройство, принцип работы дрожжерастильного аппарата типа ВДА? 6 Какие компоненты питательной среды подаются в дрожжерастильный аппарат? 7 В чем заключается сущность стерилизации дрожжерастильных аппаратов? 8 С какой целью и как осуществляется пеногашение? 9 Каковы способы отвода биологического тепла из дрожжерастильного аппарата? 10 В чем заключается сущность расчета воздухораспределительной системы?

Таблица 11.1 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	T_1 , К	j_1 , %	T_2 , К	$V_{возд}$, м ³ /ч	T_H , К	D , м	T_K , К	k , Вт/(м ² ·К)	m' , кг/ч
1	290	60	300	6500	283	5,00	293	280	300
2	290	65	301	6600	283	5,05	293	285	310
3	290	70	302	6700	283	5,10	293	290	320
4	290	75	303	6800	283	5,15	293	295	330
5	290	80	300	6900	283	5,20	293	300	340
6	291	60	301	7000	284	5,25	294	305	350
7	291	65	302	7100	284	5,30	294	310	360
8	291	70	303	7200	284	5,35	294	315	370
9	291	75	301	7300	284	5,40	294	320	380
10	291	80	302	7400	284	5,45	294	320	390
11	292	60	303	7500	285	5,50	295	315	400
12	292	65	304	7400	285	5,55	295	310	410
13	292	70	304	7300	285	5,00	295	305	420
14	292	75	305	7200	285	5,05	295	300	430
15	292	80	305	7100	286	5,10	295	295	420
16	293	60	302	7000	286	5,15	296	290	410
17	293	65	303	6900	286	5,20	296	285	400
18	293	70	304	6800	286	5,25	296	280	390
19	293	75	305	6800	286	5,30	296	300	380
20	293	80	306	6700	287	5,35	296	295	370
21	294	60	301	6500	287	5,40	296	290	360
22	294	65	302	7000	287	5,45	297	305	350
23	294	70	305	7100	287	5,50	297	310	340
24	294	75	304	7200	287	5,55	297	315	360
25	294	80	305	7300	287	5,60	297	285	380

12 Оборудование для взвешивания и дозирования продукции

12.1 Практическое занятие № 1

Расчет дозаторов пищевых продуктов

Цель работы: изучить теоретические основы процесса дозирования, освоить методику расчета дозаторов пищевых продуктов и выполнить расчет.

12.1.1 Теоретические сведения

Дозирование – это процесс отмеривания заданного количества или порции материала с требуемой точностью. Известны два способа дозирования – объемное и массовое. По характеру протекания процесс дозирования может быть порционным и непрерывным.

В перерабатывающих производствах наиболее широкое применение получили объемный порционный и объемный непрерывный способы. На комбикормовых заводах применяют также массовый порционный способ.

Устройства для отмеривания и выдачи заданной дозы, называются дозаторами. В соответствии с принятым способом дозирования дозаторы делятся на массовые и объемные. Последние проще по устройству, но обеспечивают меньшую точность дозирования; их погрешность достигает от 10 % до 12 %, а массовых – от 1 % до 3 %. Несмотря на это в большинстве случаев применяют объемные дозаторы.

По способу подачи дозируемого материала различают непрерывные и порционные дозаторы.

Наибольшим разнообразием отличаются дозаторы, предназначенные для комбикормов и других сыпучих продуктов.

Для приготовления смесей из сыпучих продуктов в зависимости от конструкции рабочего органа применяют, как правило, объемные дозаторы – бара-

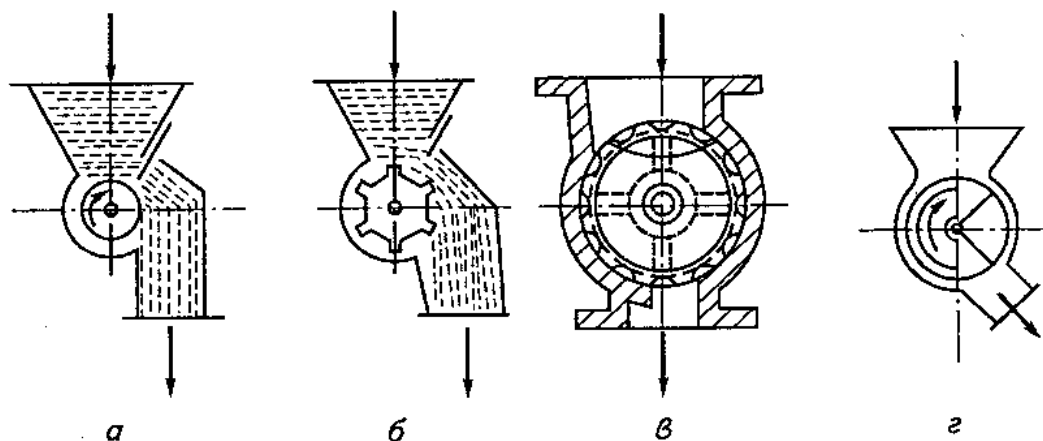
банные, тарельчатые, шнековые, мерные емкости и массовые – бункерные с противовесом.

Для дозирования готовых продуктов используют объемные дозаторы: секторные, шибберные, плунжерные, грейферные, ленточные и мерные емкости.

Для дозирования влажных рассыпных продуктов обычно применяют ленточные или шнековые транспортеры, оборудованные средствами для регулирования расхода, которые включаются в строго определенное время.

Жидкие продукты дозируют в основном с помощью мерных емкостей различных конструкций.

Барабанные дозаторы (рисунок 12.1) бывают двух типов: с цилиндрическими или гранеными барабанами и секторные (ячейковые или лопастные). Цилиндрические, гладкие и мелкорифленные барабаны применяют для порошковых и мелкозернистых, граненые – для мелко- и среднекусковых материалов.

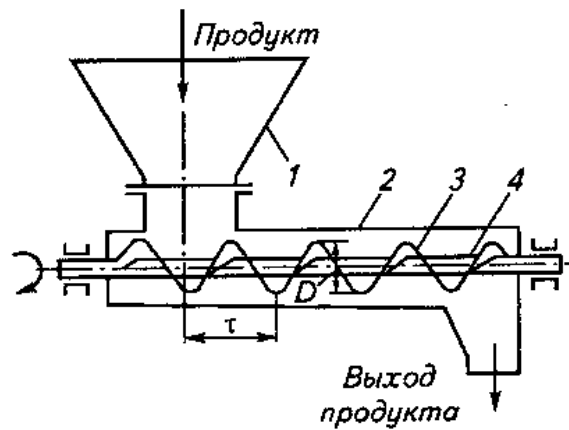


а – цилиндрический, *б* – граненый, *в* – ячейковый, *г* – лопастной

Рисунок 12.1 – Барабанные дозаторы

Окружная скорость барабанов от 0,025 до 1 м/с. Такие дозаторы обычно устанавливают под бункерами. Коэффициент заполнения желобов 0,8 – 0,9.

Шнековые дозаторы (рисунок 12.2) применяют для подачи зернистых, мелкокусковых и порошкообразных материалов в тех случаях, когда возможное измельчение отдельных частиц не имеет значения.



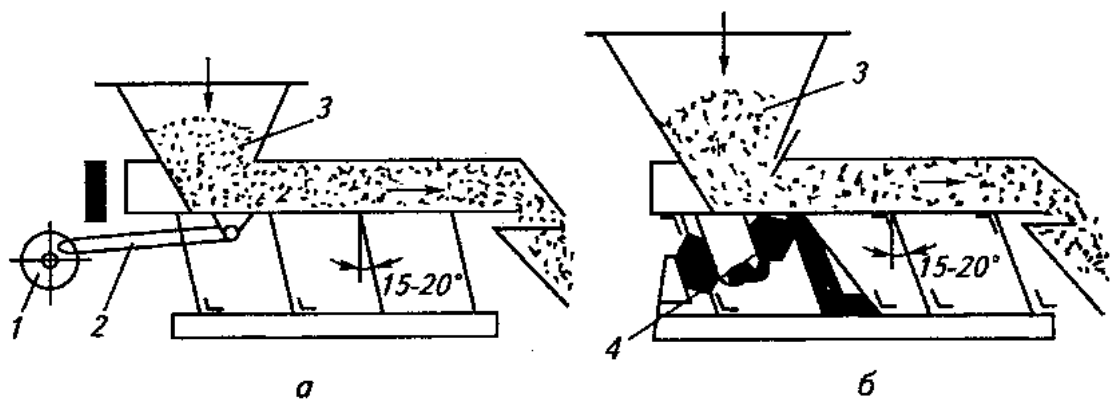
1 – приемное устройство; 2 – корпус; 3 – шнек; 4 – вал

Рисунок 12.2 – Горизонтальный шнековый дозатор

Производительность регулируют главным образом изменением частоты вращения шнека. Такие дозаторы можно устанавливать горизонтально, наклонно и вертикально.

Шаг шнека равен $0,8 - 1,0$ диаметра, коэффициент заполнения $0,8 - 1,0$.

Вибрационные дозаторы (рисунок 12.3) могут подавать различные материалы.



а – с эксцентриковым колебателем; б – с вибродвигателем

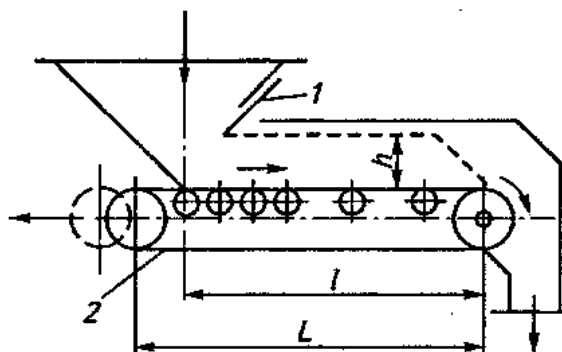
1 – эксцентрик; 2 – тяга; 3 – подвесной лоток; 4 – вибродвигатель

Рисунок 12.3 – Вибрационные дозаторы

Основной рабочий орган – опорный или подвесной лоток 3, воспринимающий колебания от приводного механизма. В качестве последнего может быть применен эксцентриковый колебатель 1 (рисунок 12.3, а) или вибродвигатель 4 (рисунок 12.3, б).

Рекомендуемое число колебаний лотка до 3000 мин^{-1} , амплитуда колебаний – до 4 мм. При этом происходит кратковременный отрыв материала от дна лотка, и в течение некоторого промежутка времени материал находится в состоянии свободного полета. Это уменьшает длительность контакта груза с лотком и снижает износ последнего.

Ленточные дозаторы (рисунок 12.4) применяют для подачи и дозирования сыпучих, плохосыпучих, а также влажных слеживающихся материалов. Их можно устанавливать горизонтально или наклонно.



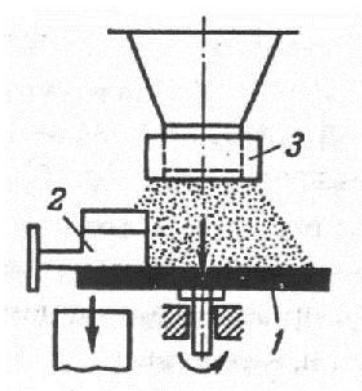
1 – заслонка; 2 – лента транспортера

Рисунок 12.4 – Ленточный дозатор

Верхняя ветвь ленты лежит на опорных роликах или скользит по неподвижному металлическому настилу. Вдоль ленты устанавливают борты, создающие желоб. Бункер устроен так, чтобы на ленту непосредственно не передавалось давление материала. Слой материала на ленте по высоте регулируют заслонкой. Рекомендуемая скорость ленты от 0,1 до 0,5 м/с.

Выбор способа дозирования и типа дозатора зависит от физико-механических и технологических свойств дозируемых материалов.

Тарельчатый дозатор (рисунок 12.5) имеет горизонтальный вращающийся диск, расположенный под цилиндрическим патрубком. Тарельчатые (дисковые) дозаторы применяют для дозирования сухих сыпучих добавок. Материал из бункера поступает на вращающийся диск, с которого сталкивается скребком. Толщина слоя на диске регулируется манжетой, ограничивающей выход материала на диск. За оборот диска с него снимается порция материала в виде кольца треугольного сечения.



1 – диск; 2 – скребок; 3 – манжета

Рисунок 12.5 – Тарельчатый дозатор

12.1.2 Методика расчета тарельчатого дозатора

Производительность дозатора, кг/с,

$$Q_{\partial} = F_0 v_n \gamma,$$

где F_0 – площадь поперечного сечения потока продукта, м²;

v_n – средняя скорость движения потока продукта, м/с;

γ – насыпная плотность продукта, кг/м³.

Площадь поперечного сечения потока продукта, м²,

$$F_0 = h^2 / (2 \operatorname{tg} j_{\text{ом}}),$$

где h – высота подъема манжеты над тарелкой, м;

j_{om} – угол естественного откоса продукта, град ($j_{om} = 27 - 43^\circ$).

Средняя скорость движения продукта, м/с,

$$v_n = p n R_0 / 30,$$

где n – частота вращения тарелки, s^{-1} ;

R_0 – расстояние между центром тяжести радиального сечения кольца и осью вращения, м;

$$R_0 = R + h / (3 \operatorname{tg} j_{om})$$

Предельная частота вращения тарелки определяется из условия, при котором центробежная сила, действующая на частицы материала, меньше силы трения их о диск, то есть

$$w^2 R_1 \leq f g, \quad (12.1)$$

где W – угловая скорость вращения диска, рад/с;

R_1 – наибольший радиус вращения частиц, м;

$$R_1 = R + h / \operatorname{tg} j_{om};$$

R – внутренний радиус манжеты;

f – динамический коэффициент трения частиц о тарелку ($f = 0,36 - 0,40$).

Из формулы (12.1)

$$n = \frac{30}{p} \sqrt{\frac{f g}{R_1}}.$$

Для определения мощности привода тарельчатого дозатора необходимо учитывать сопротивление от трения продукта о поверхность тарелки и скребка, сопротивление дроблению продукта скребком, сопротивление скручиванию столба продукта, опускающегося из воронки дозатора.

Для тарельчатого дозатора приближенно мощность привода, кВт,

$$N = \frac{N_1}{h} (1 + \cos b) k;$$

$$N_1 = P v_n / 1000 ,$$

где N – мощность, потребная для преодоления сил сопротивления от трения материала о тарелку, кВт;

P – сила трения, возникающая при движении продукта по тарелке, Н;

b – угол установки скребка относительно плоскости сечения кольца продукта, град ($b = 35 - 60^\circ$);

k – коэффициент, учитывающий другие сопротивления ($k = 1,5 - 2,0$);

η – КПД приводного механизма дозатора ($\eta = 0,82 - 0,94$);

Сила трения, возникающая при движении продукта по тарелке,

$$P = FL r f g ,$$

где L – путь перемещения материала, м.

Задание. Выполнить расчет тарельчатого дозатора, если высота подъема манжеты над тарелкой h ; радиус манжеты R ; частота вращения тарелки n ; наибольший радиус вращения частиц R_1 ; путь перемещения продукта L .

Индивидуальные задания приведены в таблице 12.1.

Таблица 12.1 – Варианты индивидуальных заданий

Вариант	h , м	R , м	n , мин ⁻¹	R_1 , м	L , м
1	0,60	0,30	4,0	0,45	1,4
2	0,61	0,35	4,4	0,48	1,6
3	0,62	0,40	4,8	0,51	1,8
4	0,63	0,30	5,2	0,45	1,4
5	0,64	0,35	5,6	0,48	1,6
6	0,65	0,40	6,0	0,51	1,8
7	0,66	0,30	6,4	0,45	1,4
8	0,67	0,35	4,0	0,48	1,6
9	0,68	0,40	4,4	0,51	1,8
10	0,69	0,30	4,8	0,45	1,4
11	0,70	0,35	5,2	0,48	1,6
12	0,64	0,40	5,6	0,51	1,8
13	0,65	0,30	6,0	0,45	1,4
14	0,66	0,35	6,4	0,48	1,6
15	0,67	0,40	4,0	0,51	1,8

Контрольные вопросы и задания. 1. Назовите способы дозирования пищевых продуктов. 2. Какие дозаторы применяют в перерабатывающих производствах? 3. Расскажите об устройстве и принципе действия тарельчатого дозатора. 4. Какие факторы влияют на мощность привода тарельчатого дозатора?

13 Оборудование для фасовки и упаковки готовой продукции

13.1 Практическое занятие № 1

Расчет разливочного автомата

Цель работы: изучение теоретических основ процесса дозирования пищевых жидкостей; знакомство с классификацией разливочных автоматов, их конструкциями и принципом работы; выполнение расчета разливочного автомата.

13.1.1 Теоретические сведения

Современные автоматы, предназначенные для розлива различных пищевых жидкостей в бутылки и придания бутылкам товарного вида, выполняют заданные технологические операции без вмешательства человека.

Разливочные автоматы применяют для розлива в бутылки ликеро-водочных изделий и вин. Автоматы должны отвечать техническим и технологическим требованиям производства, определяемым главным образом физико-химическими свойствами готовых к употреблению пищевых жидкостей. Следует учитывать, что при розливе внешние факторы могут ухудшать качество пищевых жидкостей и особенно вин.

При любом способе розлива ликеро-водочные изделия и вина не должны подвергаться аэрации, так как под действием кислорода воздуха происходят окислительно-восстановительные процессы, изменяющие вкусовые качества

разливаемой жидкости. В результате этого вино теряет стабильность и нередко мутнеет. Аэрация вызывает также пенообразование, что затрудняет нормальное наполнение бутылок и нарушает необходимую точность дозирования.

Требования, предъявляемые к качеству пищевых жидкостей, определяют не только тип тары, в которую фасуют эти жидкости, но и условия, принципы и методы фасования, а также обуславливают наличие различных типов и марок фасовочных машин, применяемых в современной промышленности.

Вместе с тем существующие фасовочные машины, несмотря на различные назначения и разнообразие конструкций, имеют много общего в принципиальных схемах и методах расчета.

Важность проблем, связанных также с применением тары для пищевых продуктов, в том числе и жидких, совершенно очевидна. Проблемы эти имеют много аспектов, основные из которых следующие: санитарно-гигиенические требования, прочностные характеристики, экономические показатели и экологические вопросы.

В настоящее время для производства тары под пищевые жидкости применяют множество различных материалов: стекло, разнообразные полимерные материалы, металл, бумагу с пропиткой, а также двухслойную тару, в которой различно сочетаются вышеперечисленные материалы.

Однако по-прежнему основным и наиболее распространенным видом тары для пищевых жидкостей является стеклянная. Она химически устойчива, обеспечивает длительное, обусловленное видом и качеством самого продукта хранение его без ухудшения качества. Стекло не выделяет вредных для здоровья веществ, гигиенично, хорошо защищает содержимое от фотохимического воздействия, от различных загрязнений. Прозрачность стекла позволяет покупателю видеть продукт. С точки зрения герметичности укупоривания стеклянная тара не уступает металлической или пластмассовой, она газонепроницаема и способна выдержать значительное внутреннее давление, что особенно важно для хранения напитков, содержащих диоксид углерода. Недостатком стеклотары

ры являются малая механическая прочность и относительно большая масса на единицу затрачиваемой продукции.

Современные разливочные автоматы для ликеро-водочных изделий, вина и других пищевых жидкостей последовательно осуществляют ряд заданных технологических операций, для выполнения которых необходимо, чтобы рабочие и холостые ходы чередовались, а рабочие органы периодически приходили в свои исходные положения. Различаются три цикла движения технологических машин: кинематический, рабочий и технологический.

Кинематическим циклом T_k механизма называется период между двумя последовательными моментами начала рабочих ходов:

$$T_k = t_p + t_x + t_{ост},$$

где t_p – время рабочего хода;

t_x – время холостого хода;

$t_{ост}$ – время остановки.

Рабочим циклом T_p машины называется период времени, по истечении которого машина выпускает вырабатываемое изделие. Часто рабочий цикл равен или кратен кинематическому.

Технологическим циклом T_m машины называется время, в течение которого обрабатываемое изделие находится в машине, то есть промежуток между моментами его загрузки и выгрузки из машины.

Отличаются автоматы методами розлива и принципами дозирования жидкости, что изменяет их расчетные гидравлические схемы и конструкции приборов для наполнения бутылок. Основными методами розлива пищевых жидкостей являются: гравитационный, изобарический, вакуумный и сифонный.

Гравитационный (изобарометрический) метод характеризуется тем, что истечение жидкости из дозатора или расходного бака происходит под действием гравитационных сил (самотеком) в условиях атмосферного давления. Напор

зависит только от сил гравитации и величина его определяется гидростатической высотой жидкости. По этому методу разливают водку, ликеры, тихие вина, не содержащие легколетучих компонентов.

Изобарический (изосверхбарометрический) метод отличается тем, что истечение жидкости из дозатора или из расходного бака происходит в поле действия гравитационных сил, но при избыточном давлении в дозаторе или в расходном баке и в наполняемой таре. По этому методу разливают игристые вина, насыщенные диоксидом углерода, пиво, минеральную воду.

Вакуумный метод характеризуется тем, что в расходном резервуаре, дозаторе и бутылке создается одинаковое разрежение, и слив жидкости в бутылку происходит под напором гидростатического столба жидкости. Это способ розлива с уравновешенным вакуумом. Разрежение создается только в бутылке, и истечение жидкости происходит под действием разности давлений в расходном баке (атмосферное) и в таре (разреженное).

Сифонный метод осуществляется в условиях одинакового давления в бутылке и в расходном резервуаре. В верхней изогнутой части сифона создается разрежение. Расход жидкости зависит от напора, определяемого расстоянием от уровня жидкости в расходном резервуаре до выходного отверстия сифонной трубки.

Дозирование жидкостей осуществляется по объему или по уровню.

Действующий напор H при розливе определяется уравнением

$$H = h + (p_1 - p_2) / \gamma ,$$

где h – высота столба жидкости, м;

p_1 – давление газа над жидкостью в расходном резервуаре или в дозаторе, МПа;

p_2 – давление газа в бутылке, МПа;

γ – плотность жидкости, кг/м³.

Как правило, разливочные машины настраивают на один тип бутылок. С конструктивной точки зрения различных типов фасовочных машин сравнительно немного.

Современные разливочные автоматы являются в основном устройствами карусельного типа, в которых на неподвижной станине с расположенными на ней механизмами установлен вращающийся расходный резервуар для приема жидкости с разливочными приборами и поплавковой системой, поддерживающей при фасовке постоянный уровень продукта в нем. Модуль всех разливных машин, то есть отношение диаметра карусели к числу фасовочных устройств, равен 35 мм.

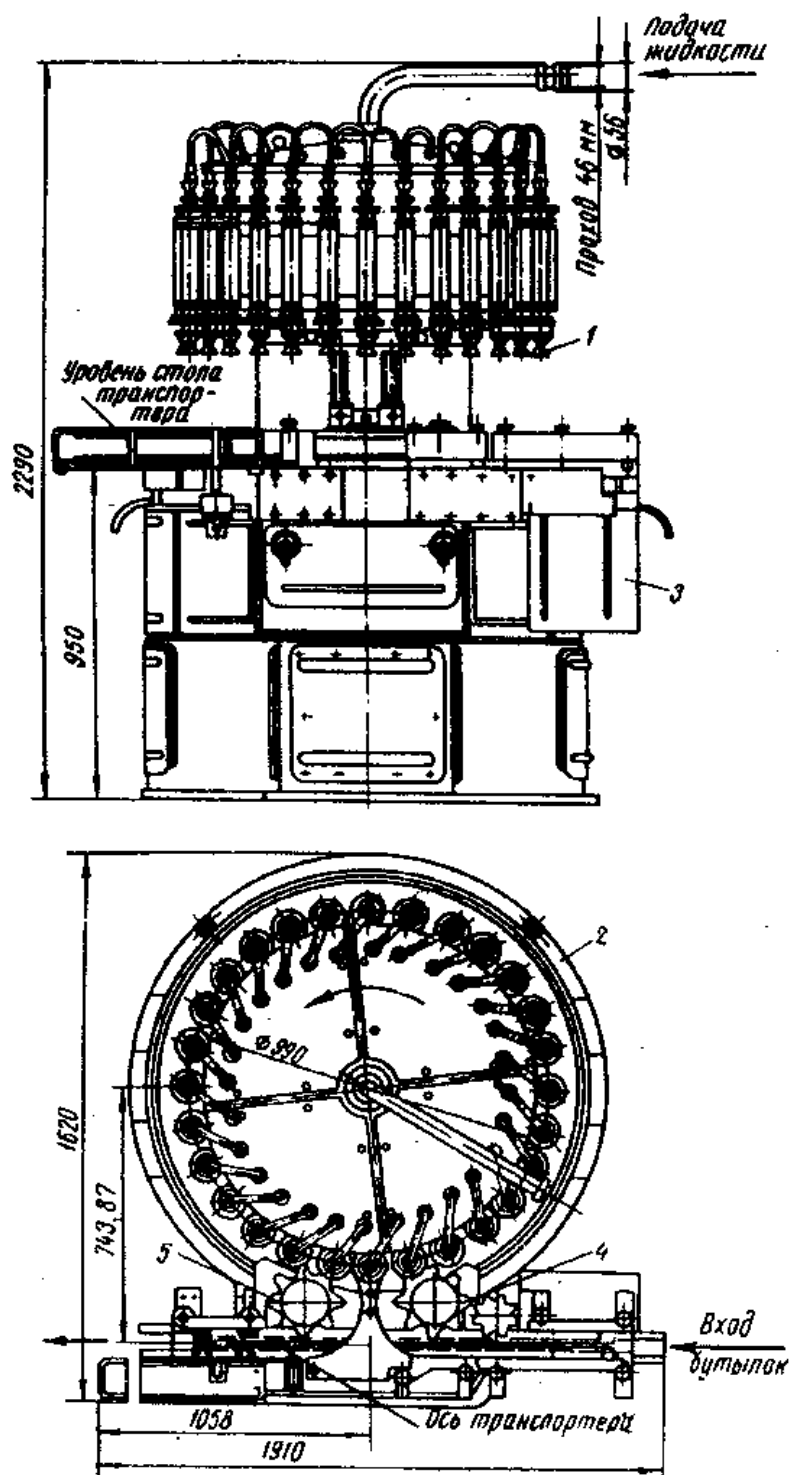
Виноградные вина, ликеро-водочные изделия, коньяки, соки можно фасовать на барометрических и вакуумных разливочных автоматах. Практически все существующие отечественные разливочные автоматы для тихих напитков по условиям фасовки относятся к гравитационным.

Фасовочная машина Т1-ВРА-6А (рисунки 13.1 и 13.2) состоит из станины 2, карусели 3, механизмов загрузки 4 и выгрузки 5.

Пустые бутылки подводятся к разливочному автомату пластинчатым конвейером и загрузочной звездочкой подаются на подъемные столики. Перед загрузочной звездочкой установлен делительный механизм шнекового типа. Подъемные столики поднимают бутылки к фасовочным устройствам, бутылки при этом центрируются колокольчиками.

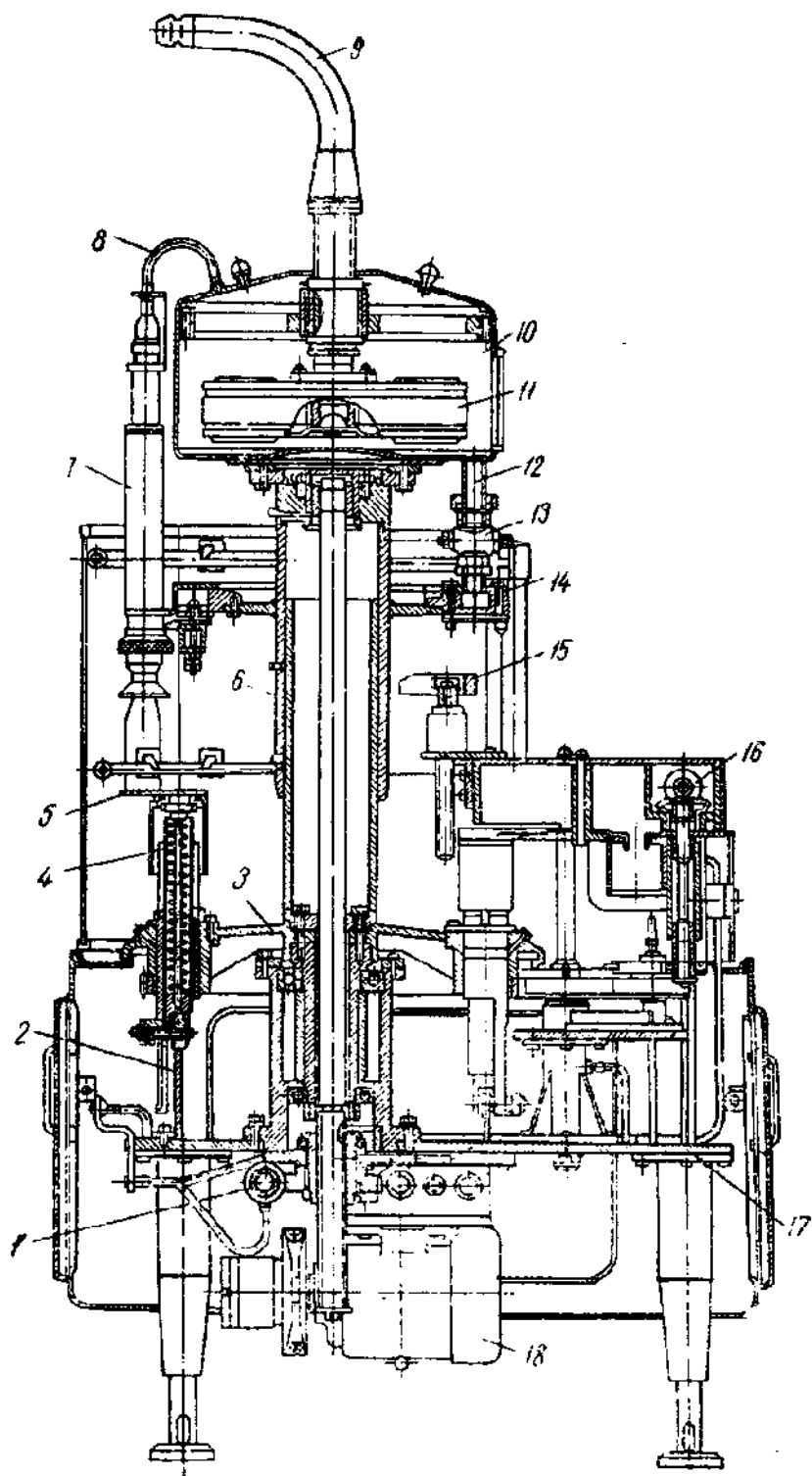
Постоянный уровень жидкости в расходном резервуаре поддерживается поплавком. Наполнение мерного стакана фасовочного устройства происходит при открывании наполнительного клапана с помощью неподвижного верхнего копира, установленного в передней части машины. По окончании фасовки столик опускается по копиру, бутылки снимаются со столиков разгрузочной звездочкой и выставляются на конвейер.

На выходе из машины установлена блокировка привода, если падает бутылка при перегрузке укупорочной машины.



1 – фасовочное устройство; 2 – станина; 3 – карусель; 4 – механизм загрузки бутылок; 5 – механизм выгрузки бутылок

Рисунок 13.1 – Разливочный автомат. Общий вид



1 – редуктор; 2 – копир; 3 – вращающийся стол; 4 – подъемный столик; 5 – платформа; 6 – стойка; 7 – фасовочное устройство; 8 – трубка; 9 – труба; 10 – расходный бак; 11 – поплавок; 12 – патрубок; 13 – кран; 14 – коллектор; 15 – копир; 16 – шнек; 17 – станина; 18 – электродвигатель

Рисунок 13.2 – Разливочный автомат. Разрез общего вида

13.1.1 Методика расчета

Теоретическая производительность разливочного автомата, бут/с,

$$\Pi_T = zn = zw/(2\pi),$$

где z – количество наполнительных приборов (разливочных устройств);

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

w – угловая скорость карусели, рад/с .

Длительность одного оборота карусели, с ;

$$T = 1/n = z/\Pi_T.$$

Расчетная производительность Π_p , бут/с,

$$\Pi_p = z_n/t_n,$$

где z_n – количество приборов (подъемных столиков), одновременно работающих на наполнение бутылок;

t_n – время наполнения бутылки жидкостью, с .

Обычно z_n вычисляют как

$$z_n = y z,$$

где $y = z_n/z$ – коэффициент использования рабочих позиций разливочных устройств, равный отношению количества приборов, одновременно работающих на наполнение, к общему количеству приборов на карусели ($y = 0,3 - 0,6$).

Время наполнения бутылки жидкостью, с ,

$$t_n = \frac{2Q}{m f_{отв} \sqrt{2gH}},$$

где Q – объем жидкости в стакане дозатора, м^3 ($Q = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$);

m – коэффициент расхода, характеризующий сопротивление сливного тракта и физические свойства разливаемой жидкости ($m = 0,4 - 0,7$);

$f_{отв}$ – площадь выходного отверстия наполнителя, м²;

g – ускорение свободного падения;

H – высота столба жидкости в дозирующем стакане, м.

Время t_n является важнейшим параметром разливочных машин и зависит от метода розлива и принципа дозирования жидкости. Производительность разливочной машины является функцией времени наполнения бутылки жидкостью, равного времени опорожнения мерного стакана дозатора.

Фактическая производительность Π_ϕ , бут/с,

$$\Pi_\phi = \frac{z}{1,62 l t_n},$$

где l – коэффициент запаса, учитывающий неточное определение и изменение t_n при фасовке пищевых жидкостей ($l = 1,4$).

Коэффициент использования технической мощности разливочного автомата

$$\chi = \Pi_\phi / \Pi_T.$$

При расчете разливочных автоматов необходимым элементом проектирования является определение следующих условий: неопрокидывание и неоскальзывание бутылок, находящихся на подъемном столике вращающейся карусели. При этом рассматривается два варианта: для порожней и наполненной бутылки.

Условие неопрокидывания бутылок

$$F_{цб} h \leq G_b \frac{d_b}{2}.$$

где $F_{цб}$ – центробежная сила, действующая на бутылку, Н;

h – высота центра тяжести бутылки, м, ($h = 0,095$ м);

G_b – вес бутылки, Н,

$$G_b = mg;$$

m – масса бутылки, наполненной жидкостью, кг,

$$m = m_{\text{б}} + m_{\text{ж}},$$

$m_{\text{б}}$ – масса пустой бутылки ($m_{\text{б}} = 0,45$ кг);

$m_{\text{ж}}$ – масса жидкости, наполняющей бутылку ($m_{\text{ж}} = (0,500 \pm 0,035)$ кг);

$d_{\text{б}}$ – диаметр доньшка бутылки, м, ($d_{\text{б}} = 0,06$ м).

Центробежная сила определена зависимостью

$$F_{\text{цб}} = mW^2 R,$$

где W – угловая скорость вращения карусели, рад/с;

R – радиус окружности по центрам подъемных столиков, м, ($R = 0,28$ м);

Условие несоскальзывания бутылок с подъемного стола

$$F_{\text{цб}} \leq G_{\text{б}} f_{\text{тр}},$$

где $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения скольжения стеклянной бутылки о материал столика ($f_{\text{тр}} = 0,1$).

Энергия, расходуемая разливочным автоматом, расходуется на перекатывание роликов подъемных столиков по копиру и вращение карусели автомата.

Сопротивление P_1 от перекатывания роликов по горизонтальному участку копира, Н,

$$P_1 = z_1 (G_1 + G_2) (2k + fd) / D,$$

где z_1 – число подъемных столиков, одновременно перемещающихся по горизонтальному участку копира;

G_1 – усилие сжатой пружины, Н;

G_2 – сила тяжести штока, столика с подшипником, роликом и порожней бутылкой, Н;

k – коэффициент трения качения шарикоподшипника ролика ($k = 0,005$ м);

f – условный коэффициент трения скольжения подшипника ($f = 0,15$);

d – диаметр окружности по центрам шариков подшипника, м;

D – диаметр шарикоподшипника, м.

Сопротивление P_2 на участке подъема штока с учетом угла подъема копира, Н,

$$P_2 = \left[(G_1 + G_3) \sin a + \cos a \frac{2k + fd}{D} \right] \frac{1}{\cos a}.$$

где G_3 – сила тяжести штока, подшипника, ролика и наполненной бутылки, Н;

a – угол подъема профиля копира, град, $a = 45^\circ$.

Сопротивлением движению ролика на участке копира с опусканием штока можно пренебречь. Суммарное сопротивление P движению всех роликов, одновременно находящихся в контакте с копиром, Н,

$$P = P_1 + P_2.$$

Мощность N_1 , кВт, расходуемая на перекачивание роликов по копиру

$$N_1 = 10^{-3} PJ,$$

где J – линейная скорость перемещения столиков, м/с ($J = WR$).

Мощность N_2 , кВт, расходуемая на вращение карусели без учета сопротивления роликов

$$N_2 = 10^{-3} G_4 f_{\text{с}} d_1 W,$$

где G_4 – сила тяжести главного вала с прикрепленными к нему деталями, Н;

$f_{\text{с}}$ – условный коэффициент трения скольжения подшипника ($f_{\text{с}} = 0,1$);

d_1 – диаметр окружности по центрам шариков упорного подшипника главного вала, м ($d_1 = d$);

W – угловая скорость вращения главного вала, рад/с.

Суммарная мощность N на главном валу разливочного автомата, кВт,

$$N = (N_1 + N_2) / \eta_{\text{к}},$$

где $\eta_{\text{к}}$ – КПД подшипников качения ($\eta_{\text{к}} = 0,98$).

Мощность электродвигателя привода разливочного автомата $N_{\text{дв}}$, кВт,

$$N_{\text{дв}} = KN/h_{np},$$

где K – коэффициент пуска ($K = 1,15$);

h_{np} – КПД привода ($h_{np} = 0,8$).

Задание: выполнить расчет разливочного автомата, если заданы: z – количество наполнительных устройств, шт.; n – частота вращения карусели, мин⁻¹; y – коэффициент использования рабочих позиций разливочных устройств; m – коэффициент расхода, характеризующий сопротивление сливного тракта и физические свойства разливаемой жидкости; $f_{\text{отв}}$ – площадь выходного отверстия наполнителя, м²; H – высота столба жидкости в дозировочном стакане, м; z_1 – число подъемных столиков, одновременно перемещающихся по горизонтальному участку копира, шт.; G_1 – усилие сжатой пружины, Н; G_2 – сила тяжести штока, столика с подшипником, роликом и порожней бутылки, Н; G_3 – сила тяжести штока, подшипника, ролика и бутылкой, наполненной жидкостью, Н; G_4 – сила тяжести главного вала с прикрепленными к нему деталями, Н; D – диаметр шарикоподшипника, м; d – диаметр окружности по центрам шариков подшипника, м.

Индивидуальные задания приведены в таблице 13.1.

Контрольные вопросы. 1 Для чего предназначены разливочные автоматы и какие пищевые жидкости разливают в стеклянные бутылки? 2 Какова классификация разливочных автоматов? 3 Чем характеризуются методы розлива пищевых жидкостей? 4 Что такое модуль разливочных машин? 5 Какие основные конструктивные элементы характерны для всех разливочных автоматов? 6 Что называется кинематическим, рабочим и технологическим циклами автомата? 7 Чем отличаются автоматы, дозирующие жидкости по объему и по уровню?

Таблица 13.1 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	z , шт.	n , мин ⁻¹	$f_{омв} \cdot 10^4$, м ²	H , м	z_1 , шт.	G_1 , Н	G_2 , Н	G_3 , Н	G_4 , Н	D , м	d , м
1	16	6,25	0,8	0,225	5	196	108	118	2945	0,372	0,340
2	18	5,56	0,9	0,230	6	245	118	128	3140	0,380	0,350
3	20	5,00	1,0	0,245	6	215	128	137	3240	0,388	0,355
4	22	4,55	1,1	0,260	7	225	137	148	3435	0,394	0,360
5	25	4,00	1,2	0,270	8	186	148	157	3335	0,400	0,370
6	28	3,57	1,3	0,280	9	196	157	168	3535	0,375	0,345
7	16	6,25	1,4	0,250	5	235	168	196	3140	0,380	0,350
8	18	5,56	1,5	0,250	6	245	196	215	3435	0,388	0,355
9	16	6,25	1,6	0,230	5	225	108	215	3140	0,372	0,340
10	18	5,60	1,7	0,240	6	186	118	196	3240	0,380	0,350
11	20	5,00	1,6	0,245	6	196	128	168	3435	0,388	0,355
12	22	4,55	1,5	0,250	7	235	137	157	3335	0,394	0,360
13	25	4,00	1,4	0,260	8	245	148	148	3535	0,400	0,370
14	28	3,57	1,3	0,270	9	196	157	137	2945	0,375	0,345
15	20	5,00	1,2	0,280	6	215	168	128	3140	0,380	0,350
16	22	4,55	1,1	0,260	7	245	196	118	3240	0,388	0,355
17	16	6,25	1,0	0,240	5	196	196	215	2945	0,372	0,340
18	18	5,56	0,9	0,250	6	245	168	196	3140	0,380	0,350
19	20	5,00	0,8	0,225	6	215	157	118	3240	0,388	0,355
20	22	4,55	1,5	0,240	7	225	148	128	3435	0,394	0,360
21	25	4,00	1,6	0,250	8	186	137	137	3335	0,400	0,370
22	28	3,57	1,7	0,260	9	196	128	148	3535	0,375	0,345
23	16	6,25	1,5	0,270	5	235	118	157	3140	0,380	0,350
24	18	5,56	1,6	0,280	6	245	108	168	3435	0,388	0,355
25	20	5,00	1,7	0,250	6	225	196	196	3240	0,400	0,370

Заключение

В учебном пособии рассмотрены теоретические положения для осуществления конкретных технологических процессов, схемы и конструкции оборудования, расчетные формулы, достоинства и недостатки каждого аппарата или машины, приведены контрольные вопросы. Материал практикума подобран из различных литературных источников и обработан на единой методической основе, что позволяет углубленно изучать курс «Технологическое оборудование» и активизировать самостоятельную творческую работу студента.

Полученные знания будут необходимы при профессиональной подготовке студентов по специальностям «Машины и аппараты пищевых производств» и «Пищевая инженерия малых предприятий», решении практических задач, непосредственно связанных с эксплуатацией и ремонтом основного технологического оборудования, а также с интенсификацией производственных процессов.

Список использованных источников

1. Астанин, Н.М. Бутылкомоечные машины / Н.М. Астанин. - М.: Агропромиздат, 1986. - 224 с.
2. Балашов, В. Е. Практикум по расчету технологического оборудования для производства пива и безалкогольных напитков / В.Е. Балашов . - М.: Агропромиздат, 1988. - 188 с.
3. Барановский, Н.В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н.В. Барановский, Л.М. Коваленко, А.Р. Ястребенецкий. - М.: Машиностроение, 1973. - 288 с.
4. Бутковский, В. А. Технологическое оборудование мукомольных производств/ В. А. Бутковский, Г. Е. Птушкина. - М.: «Хлебопродукты», 1999. - 208 с.
5. Вайткус, В.В. Гомогенизация молока / В.В. Вайткус. - М.: Пищ. пром-сть, 1967. - 216 с.
4. Гатилин, Н.Ф. Проектирование хлебозаводов / Н.Ф. Гатилин. - М.: Пищ. пром-сть, 1975. - 374 с.
5. Гребенюк, С.М. Технологическое оборудование сахарных заводов / С.М. Гребенюк. - М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. - 342 с.
6. Грязнов, В.П. Практическое руководство по ректификации спирта / В.П. Грязнов. - М.: Пищ. пром-сть, 1968. - 192 с.
7. Зайчик, Ц.Р. Машины для фасования пищевых жидкостей в бутылки / Ц.Р. Зайчик, В.А. Трунов, В.К. Яшин. - М.: Агропромиздат, 1989. - 239 с.
8. Зайчик, Ц.Р. Сборник задач по расчетам оборудования винодельческого производства / Ц.Р. Зайчик. - 8-е изд., перераб. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. - 200 с.
9. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - / А.Г. Касаткин. - М.: Химия, 1971. - 784 с.
10. Климовский, Д.Н. Технология спирта / Д.Н. Климовский, В.Н. Стабников, В.А. Смирнов. - М.: Пищ. пром-сть, 1967. - 452 с.

11. Кожуховский, И.Е. Зерноочистительные машины / И.Е. Кожуховский. - М.: Машиностроение, 1965. - 220 с.
12. Колесник, Б.Г. Справочник механика сахарного завода / Б.Г. Колесник, В.П. Лысенко, А.П. Пароходько. - М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. - 264 с.
13. Колесников, В.А. Теплосиловое хозяйство сахарных заводов / В.А. Колесников, Ю.Г. Нечаев. - М.: Пищ. пром-сть, 1980. - 392 с.
14. Коренев, А.М. Практикум по холодильной технологии пищевых продуктов и холодильной технике / А.М. Коренев, В.П. Харитонов. - М.: Агропромиздат, 1986. - 191 с.
15. Кретов, И.Т. Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности: учебник / И.Т. Кретов, С.Т. Антипов. - Воронеж: Изд-во Воронеж, ун-та, 1997. - 624 с.
16. Кретов, И.Т. Технологическое оборудование предприятий пищеко-
нцентратной промышленности: учебник / И.Т. Кретов, А.Н. Остриков, В.М. Кра-
вченко. - Воронеж: Изд-во Воронеж, ун-та, 1996. - 448 с.
17. Курочкин, Л. А. Технологическое оборудование для переработки про-
дукции животноводства / Л.А. Курочкин, В.В. Ляшенко; под ред. В. М. Баути-
на. - М.: Колос, 2001. - 440 с.
18. Липатов, Н.Н. Саморазгружающиеся сепараторы / Н.Н. Липатов, О.П. Новиков. - М.: Машиностроение, 1975. - 247 с.
19. Лисовенко, А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути
его совершенствования / А.Т. Лисовенко. - М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. - 208 с.
20. Маклюков, И.И. Промышленные печи хлебопекарного и кондитерско-
го производства. / И.И. Маклюков, В.И. Маклюков.- 4-е изд., перераб. и доп. -
М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. - 272 с.
21. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. / С. Т. Антипов [и
др.]; под ред. акад. РАСХН В. А. Панфилова. - М.: Высш. шк., 2001. – кн. 1 -
703 с.; кн. 2 - 680 с.

22.Машины и оборудование для цехов и предприятий малой мощности по переработке сельскохозяйственного сырья: Каталог. Ч. 1. - М.: «Информагротех», 1992. - 257 с.

23.Машины, оборудование, приборы и средства автоматизации для перерабатывающих отраслей АПК: Каталог - дополнение. Ч. 1 - М.: «Информагротех», 1995. - 97 с.

24.Муштаев, В.И. Сушка дисперсных материалов / В.И. Муштаев, В.М. Ульянов. - М.: Химия, 1988. - 352 с.

25.Назаров, Н.И. Технология макаронных изделий / Н.И. Назаров. - М.: Пищ. пром-сть, 1978. - 288 с.

26.Оборудование для малотоннажных перерабатывающих производств. Каталог. - М.: «Росинформагротех», 2004. - 244 с.

27.Оборудование пищеконцентратного производства: справ. / В.А. Воскобойников [и др.] - М.: Агропромиздат, 1989. - 303 с.

28.Оборудование спиртовых заводов / СП. Колосков, В.Л. Яровенко, В.Н. Стабников, Б.А. Устинников. - М.: Пищ. пром-сть, 1975. - 296 с.

29.Островский, Э.В. Краткий справочник конструктора продовольственных машин / Э.В. Островский, Е.В. Эйдельман. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1986. - 621 с.

30.Практикум по расчетам оборудования хлебопекарного и макаронного производств / М.Е. Чернов [и др.]; под ред. Ю.А. Калошина. - М.: Агропромиздат, 1991. - 166 с.

31.Прудюс, Б.В. Расчет оборудования сахарных заводов / Б.В. Прудюс, А.И. Хоменко. - М.: Агропромиздат, 1985. - 223 с.

32.Расчет и конструирование печей хлебопекарного и кондитерского производств / А.А. Михелев, Н.М. Ицкович, М.Н. Сигал, А.В. Володарский. - М.: Пищ. пром-сть, 1979. - 326 с.

33.Рогов, И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов / И.А. Рогов. - М.: Агропромиздат, 1988. - 272 с.

34. Остриков, А. Н. Практикум по курсу «Технологическое оборудование» / А.Н. Остриков, М.Г. Парфенопуло, А.А. Шевцов. — Воронеж: Гос. Технолог. акад., 1999. - 424 с.
35. Сборник задач по процессам теплообмена в пищевой и холодильной промышленности / Г.Н. Данилова, В.Н. Филаткин, М.Г. Щербов, Н.А. Бучко. 4-е изд. - М.: Колос, 1995. - 303 с.
36. Оборудование предприятий хлебопекарной промышленности / М.Н. Сигал [и др.] - М.: Агропромиздат, 1985. - 296 с.
37. Силин, П.М. Технология сахара / П.М. Силин. - М.: Пищ. пром-сть, 1967. - 625 с.
38. Система научного и инженерного обеспечения пищевых и перерабатывающих отраслей АПК России / А.Н. Богатырев, В.А. [и др.] - М.: Пищ. пром-сть, 1995. - 528 с.
39. Соколов, А.Я. Основы расчета и конструирования машин и автоматов пищевых производств / А.Я. Соколов. - М.: Машиностроение, 1969. - 639 с.
40. Сурков, В.Д. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности. / В.Д. Сурков, Н.Н. Липатов, Ю.П. Золотин. - 3-е изд., перераб. и др. - М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. - 432 с.
41. Технологическое оборудование консервных заводов / М.С. Аминов, М.Я. Дикис, А.Н. Мальский, А.К. Гладушняк. - М.: Пищ. пром-сть, 1986. - 319 с.
42. Технологическое оборудование пищевых производств / Б.М. Азаров [и др.]; под ред. Б.М. Азарова. - М.: Агропромиздат, 1988. - 463 с.
43. Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности/ В. И. Попов, И. Т. Кретов, В. Н. Стабников, В. К. Предтеченский. - М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. - 464 с.
44. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна / А.Я. Соколов [и др.] - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1984.- 445 с.

45. Флауменбаум, Б.Л. Теоретические основы стерилизации консервов. - / Б.Л. Флауменбаум.- 2-е изд., испр. и доп. Киев: Вища шк. Изд-во при Киев., ун-те, 1981. - 196 с.

46. Харитонов, Н.Ф. Автоматы и поточные линии розлива вин / Н.Ф. Харитонов, Я.А. Ярмолинский. - М.: Машиностроение, 1967. - 248 с.

47. Холодильная техника. Теплофизические основы получения искусственного холода: справ. - М.: Пищ. пром-сть, 1980. - 232 с.

48. Чернов, М.Е. Справочник по макаронному производству / М.Е. Чернов, Г.М. Медведев, В.П. Негруб. - М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. - 304 с.

49. Чернов, М.Е. Оборудование предприятий макаронной промышленности / М.Е. Чернов. - М.: Агропромиздат, 1988. - 264 с.

50. Справочник механика дрожжевого завода / Ю.И. Шишацкий, Н.Ф. Семенов, В.А. Федоров, С.В. Востриков. - М.: Агропромиздат, 1987. - 295 с.

51. Ярмолинский, Д.А. Элементы конструкций автоматов линий розлива вин / Д.А. Ярмолинский, Ц.Р. Зайчик. - М.: Машиностроение, 1974. - 256 с.