

**ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ**

**КАФЕДРА МЕХАНИЗАЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА И  
ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ  
ПРОДУКЦИИ**

**ОСНОВЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ  
МАШИН И АППАРАТОВ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ  
ПРОИЗВОДСТВ**

задания и методические указания по  
выполнению контрольной работы

Новосибирск 2023

**Кафедра механизации животноводства и переработки  
сельскохозяйственной продукции**

УДК 631.36/664.7

Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств: метод. указания для выполнения контрольной и самост. работы / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: Е.А. Пшенов. – Новосибирск, 2023. – 32 с.

Рецензент:  
канд. техн. наук, доцент ***И.В. Тихонкин***

Задания и методические указания по выполнению контрольной работы предназначены для студентов очной формы обучения по направлениям подготовки:

Агроинженерия;  
Профиль: «Машины и оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции»

Утверждено и рекомендовано к изданию методическим советом Инженерного института (протокол № 8 от 28 марта 2023 г.).

© Новосибирский ГАУ, 2023

## ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа по дисциплине «Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств» является самостоятельной работой студентов, цель которой углубление и закрепление теоретических знаний полученных студентами в ходе ее изучения.

Работа машин и аппаратов оценивается по техническим и технологическим показателям, составляющим их техническую характеристику. К числу таких показателей обычно относят:

- производительность, т. е. количество перерабатываемого сырья или изготавливаемой продукции в единицу времени;

- потребляемую мощность, выражаемую количеством пара, хладонотителя, электричества в единицу времени;

- параметры электрической энергии (напряжение, частота, количество фаз), пара (температура, давление) и хладонотителя (вид, температура);

- параметры сырья и конечной продукции;

- параметры режима работы технологического оборудования и его отдельных элементов (давление, температура, частота вращения и др.);

- габаритные размеры и массу технологического оборудования;

- условия эксплуатации (характеристика производственного помещения, температура и относительная влажность воздуха).

Первые два показателя являются наиболее важными, так как в определенной степени позволяют судить о техническом уровне оборудования и соответствии его мировым стандартам.

Остальные показатели технической характеристики машин и аппаратов отражают их эксплуатационные свойства, а также качественные показатели сырья и готовой продукции.

Следует отметить, что реализовать все возможности оборудования, заявленные технической характеристикой, в большинстве случаев невозможно без соответствующей подготовки обслуживающего персонала и инженерной службы перерабатывающих предприятий. Необходимо знать закономерности изменения сырья на всех технологических стадиях в зависимости от режимов работы машин и аппаратов, а также уметь настраивать и контролировать параметры оборудования для обеспечения этих режимов.

В методические указания включены варианты индивидуальных заданий, методика и последовательность расчета основных показателей оборудования, представленные в форме, по которой должна быть оформлена контрольная работа.

Работа предназначена для студентов очной формы обучения.

# 1. РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА

## РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТРИЕРА

Рассчитать и сконструировать цилиндрический триер, по известной производительности  $Q$ , кг/ч, виду продукта и содержанию примеси.

**Таблица 1.1 Варианты индивидуальных заданий**

Последняя цифра шифра	Очищаемая культура	Производительность, кг/ч	Предпоследняя цифра шифра	Содержание примесей, %
0	Пшеница от коротких примесей	1500	0	3,2
1		3000	1	2,6
2	Пшеница от длинных примесей	1000	2	1,5
3		2000	3	2,4
4	Овес от коротких примесей	2500	4	2,9
5		3500	5	1,3
6	Гречиха от длинных примесей	4000	6	1
7		1000	7	2
8	Ячмень от коротких примесей	2000	8	2,5
9		3000	9	1,7

Требуется: определить геометрические и кинематические параметры рабочего органа (диаметр и длину цилиндра, частоту его вращения), составить кинематическую схему привода и рассчитать потребную мощность, определить уровень установки желоба и его геометрические размеры, рассчитать геометрические параметры шнека.

### Последовательность расчета

Для продукта выписать линейные размеры по приложению 8:

Параметр	Значение	Параметр	Значение
длина		плотность	
ширина		коэффициент внутреннего трения	
толщина		угол естественного откоса	
вес 1000 зерен		коэффициент внешнего трения	
объемная масса		угол трения	

Цилиндрический триер, схема которого представлена на рис.1.1, состоит из стального цилиндра 1 со штампованными ячеями на внутренней поверхности и шнека 2, расположенного в желобе 3. При вращении цилиндра 1 в ячеи попадают короткие зерна, которые выпадают при повороте цилиндра на некоторый угол. Короткие зерна укладываются в ячеи глубже, чем длинные. Поэтому первые при вращении цилиндра выпадают позже, попадают в желоб 3 и выводятся из машины шнеком 2.

Длинные зерна, скользя по внутренней поверхности цилиндра, перемещаются в продольном направлении под давлением зерна, поступающего в машину. Степень разделения смеси на фракции по длине зависит от уровня, на который установлена верхняя грань желоба 3.

Вращение цилиндра 1 и шнека 2 осуществляется от электродвигателя 10 через ременную передачу 9, редуктор 8 и муфту 7.

Зерна подается через приемный патрубок 4. Очищенная пшеница отводится через лоток 5, а короткие примеси (куколь, битая пшеница) выводятся через лоток 6.

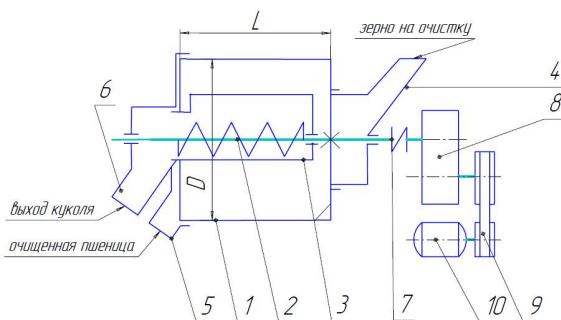


Рисунок 1.1 – Схема цилиндрического триера:

1 – стальной цилиндр; 2 – шнек; 3 – желоб; 4 – приемный патрубок; 5 – отводной лоток для очищенной пшеницы; 6 – отводной лоток для куколя; 7 – муфта; 8 – редуктор; 9 – ременная передача; 10 – электродвигатель.

Выписать параметры триерной поверхности из приложений 9,10,11:

Параметр	Значение
удельная нагрузка на триерную поверхность	
диаметр ячейки триера	
толщина листа цилиндра триера	

Площадь ячеистой поверхности  $F$  ( $\text{м}^2$ ) определяют при известных значениях  $Q$  и  $q$  (определяется по приложению 8 в зависимости от технологической операции и вида зерновой культуры):

$$F = \frac{Q}{q}, \quad (1.1)$$

где  $q$  – удельная нагрузка на триерную поверхность,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

По ГОСТ 9331-71 определить диаметр цилиндрического триера  $D$  в зависимости от производительности по таблице 1.2

Таблица 1.2 Рекомендованные значения диаметров цилиндрического триера

Диаметр цилиндра, мм	400	500	600	800
Производительность, кг/ч	до 1200	1000-2500	2500-3500	3500-5000

Для обеспечения производительности более 5000  $\text{кг}/\text{ч}$  применяют блоки из двух или более параллельно работающих триеров с цилиндрами диаметрами 600 и 800 мм.

Длину цилиндра  $L$  (м) находим по формуле:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot D}, \quad (1.2)$$

где  $D$  – диаметр цилиндра, м.

Предельную частоту вращения цилиндра  $n_{\text{пред}}$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) вычисляют по формуле:

$$n_{пред} = \frac{30}{\sqrt{R}}, \quad (1.3)$$

где  $R$  – радиус цилиндра, м.

В тихоходных триерах частота вращения  $n_T$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) цилиндра вычисляется по формуле (1.4) и находится в пределах:

$$n_T = \frac{6}{\sqrt{R}} \dots \frac{9}{\sqrt{R}}. \quad (1.4)$$

Для определения рабочей частоты вращения цилиндра триера воспользуемся оптимальными значениями ускорения  $\omega^2 r$  ( $\text{с}^{-1}$ ) при очистке зерна некоторых культур в цилиндрических триерах, которые зависят от вида зерновых культур для пшеницы – 3,5...6; для овса – 4,0...6,0

Отсюда угловая скорость  $\omega$  ( $\text{с}^{-1}$ ) определяется по формуле:

$$\omega = \sqrt{\frac{5,0}{R}}, \quad (1.5)$$

где  $R$  – радиус цилиндра в цилиндрических триерах или наибольший радиус диска в дисковых триерах в м.

Отсюда частота вращения  $n$  ( $\text{мин}^{-1}$ ) определяется по формуле:

$$n = \frac{\omega \cdot 30}{\pi}. \quad (1.6)$$

Рассчитаем зоны скольжения и выпадения зерновок для определения угла установки желоба при выведении из цилиндра триера короткой фракции (куколя).

Значения углов трения зерна о триерную поверхность  $\varphi$  (град) выбираем из таблицы 1.3, по С.В. Полетаеву.

Таблица 1.3 Значение углов трения зерна о триерную поверхность

Положение зерна		Овес		Пшеница		Куколь	
		$\varphi_{\min}$	$\varphi_{\max}$	$\varphi_{\min}$	$\varphi_{\max}$	$\varphi_{\min}$	$\varphi_{\max}$
на гадкой поверхности цилиндра между ячейками	+	32	34	37	39	23	45
	-	44	65	37	50		
в ячейках цилиндра	+	84	87	62	107	87	111
	-	68	75	63	120		

**Примечание.** Знак (+) относится к зернам, располагающимся при движении перпендикулярно образующей цилиндра ; знак (-) относится к зернам, располагающимся при перемещении параллельно образующей цилиндра.

Угол подъема зерновки, не попавшей в ячейки и располагающейся на внутренней цилиндрической поверхности в один слой  $\alpha^\circ$  (град), определяем по формуле:

$$\alpha_0 = \varphi + \arcsin\left(\frac{\omega^2 R}{g} \sin \varphi\right). \quad (1.7)$$

Вычисляем максимальный и минимальный углы подъема зерновки.

Угол выпадения короткой фракции из ячеи (нижняя граница его выпадения)  $\alpha_1$  (град), относительно центра цилиндра, определяем по формуле:

$$\alpha_1 = \alpha + \arcsin\left(\frac{\omega^2 R}{g} \cos \varphi\right). \quad (1.8)$$

Проверяем расчетное число оборотов цилиндра  $n$  (мин<sup>-1</sup>) по формуле:

$$n = 30 \cdot \sqrt{\frac{\sin(\alpha_0 - \varphi)}{R \cdot \sin \varphi}}. \quad (1.9)$$

Производительность шнека для овсюгоотборочных машин принимаем равной производительности триера  $Q_T = Q$ , для куколеотборочных машин  $Q_T = 0,15Q$ .

Шаг шнека  $S$  (мм) определяем по формуле:

$$S = D_{\text{шн}} = 36 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_T}{n_{\text{шн}}}}, \quad (1.10)$$

где  $D_{\text{шн}}$  – диаметр шнека, равный шагу шнека, мм;

$Q_T$  – производительность шнека, кг/ч;

$n_{\text{шн}}$  – частота вращения шнека, равная частоте вращения триерного цилиндра, мин<sup>-1</sup>.

Радиус закругления дна желоба  $r$  (мм) определяем по формуле:

$$r = \frac{D_{\text{шн}}}{2} + (5 \dots 8). \quad (1.11)$$

Потребную для работы триера мощность  $N$  (кВт) определяем в зависимости от его производительности. Для ориентировочных расчетов можно пользоваться формулой:

$$N = 0,0002Q. \quad (1.12)$$

Для разработки кинематической схемы привода цилиндрического триера необходимо рассчитать общее передаточное число, которое определяем по формуле:

$$i = \frac{n_{\text{ов}}}{n}. \quad (1.13)$$

Общее передаточное число привода является произведением всех передаточных чисел привода и определяется по формуле:

$$i = i \dots i_n \quad (1.14)$$

Общий коэффициент полезного действия является произведением всех КПД передач привода и определяется по формуле:

$$\eta = \eta \dots \eta_n \quad (1.15)$$

Установленная мощность привода  $N_{np}$  (кВт) определяется по формуле:

$$N_{np} = \frac{N}{\eta_{np}}. \quad (1.16)$$

Крутящий момент  $M_{кр}$  (Н·м) определяем по формуле:

$$M_{кр} = \frac{N}{\omega}, \quad (1.17)$$

где  $N$  – мощность на тихоходном валу редуктора, Вт;

$\omega$  – угловая скорость тихоходного вала редуктора, которая равна угловой скорости цилиндра триера, с<sup>-1</sup>.

Если известно процентное содержание примесей, то правильность выбора длины цилиндра триера проверяется по формуле:

$$L = \frac{Q \cdot a}{x \cdot V \cdot \Delta \cdot k \cdot 60^2 \cdot 100}, \quad (1.18)$$

где  $L$  – длина цилиндра, м;

$Q$  – производительность, кг/ч;

$\Delta$  – средний вес зерна, выбираемого одной ячейей, кгс, определяем по приложению 8;

$k$  – коэффициент использования ячеистой поверхности. При очистке пшеницы от коротких примесей  $k = 0,03-0,035$ , а при очистке от длинных примесей  $k = 0,16-0,18$ ;

$V$  – окружная скорость ячеистой поверхности в м/с, которая определяется по формуле:

$$V = \omega \cdot R, \quad (1.19)$$

$x$  – количество ячеей, приходящихся на 1 м триерной поверхности, определяется по формуле Г.Т. Павловского:

$$x = \frac{A}{d^n}, \quad (1.20)$$

здесь  $A$  – опытный коэффициент;

$n$  – показатель степени;

$d$  – диаметр ячейей в мм, принимается в зависимости от вида зерновой культуры.

$A$  и  $n$  приведены в таблице 1.4 в зависимости от диаметра ячейей триерной поверхности.

Таблица 1.4 Значения  $A$  и  $n$  в зависимости от диаметра ячейей

Ячеей	$d$	$A$	$n$
штампованные	2,5-12	$4,30 \cdot 10^5$	1,8
фрезерованные	1,5-5,5	$4,62 \cdot 10^5$	1,65
фрезерованные	6-12	$5,39 \cdot 10^6$	1,8

Для контроля отходов, полученных в куколеотборочных машинах, применяют триеры с ячейейками на 0,5-1,0 мм меньше, чем в основных триерах.

Определяем максимально возможное содержание коротких примесей в исходной смеси  $a$  (%) из формулы (1.18).



## 2. РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЯСА

### РАСЧЕТ МЯСОРУБКИ

**Задание.** Определить параметры шнека; производительность мясорубки  $Q$ ; мощность электродвигателя  $N$ . Данные для расчета приведены в табл. 2.1.

**Таблица 2.1** Варианты индивидуальных заданий

Последняя цифра шифра	Диаметр решетки $D$ , мм	Диаметр отверстий		Количество отверстий		Предпоследняя цифра шифра	Частота вращения шнека $n$ , мин <sup>-1</sup>
		первой ножевой решетки $d_1$ , мм	второй ножевой решетки $d_2$ , мм	первой ножевой решетки $z_1$ , шт.	второй ножевой решетки $z_2$ , шт.		
0	82	9	5	30	90	0	190
1	60	9	5	42	84	1	170
2	54	4,5	3	48	100	2	160
3	105	9	5	54	132	3	200
4	82	5	3	90	225	4	180
5	105	5	3	132	276	5	140
6	54	7	4,5	18	48	6	120
7	120	9	5	65	202	7	135
8	98	9	3	52	378	8	175
9	60	5	3	42	84	9	130

Из таблицы 2.1 выписываем данные в соответствии с шифром зачетной книжки и заносим в таблицу 2.2.

**Таблица 2.2** Исходные данные для расчета

Показатель	Единица измерения	Условное обозначение	Значение
Диаметр подрезной решетки	м	$D$	
Первая ножевая решетка			
диаметр отверстий	м	$d_1$	
число отверстий	шт.	$z_1$	
Вторая ножевая решетка			
диаметр отверстий	м	$d_2$	
число отверстий	шт.	$z_2$	
Количество перьев двустороннего ножа	шт.	$z$	4
Частота вращения шнека и ножей	мин <sup>-1</sup>	$n$	

### Последовательность расчета

1. Определяем параметры шнека

Параметрами шнека являются его геометрические размеры (рис. 2.1).

Определяем наружный диаметр шнека  $d_H$ , м:

$$d_H = (0,8...0,9) \cdot D \quad (2.1)$$

где  $D$  – диаметр ножевой решетки, м.

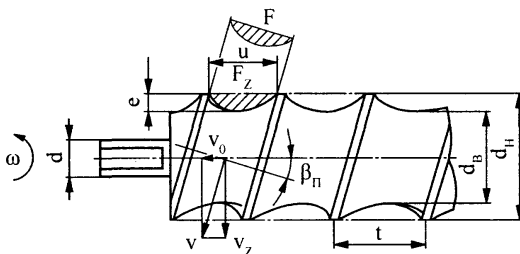


Рис. 2.1. Параметры шнека мясорубки

Внутренний диаметр шнека  $d_B$ , м:

$$d_B = (0,4...0,5) \cdot d_H \quad (2.2)$$

Диаметр хвостовика шнека  $d$ , м:

$$d = (0,2...0,3) \cdot d_H \quad (2.3)$$

Длина шнека  $L$ , м:

$$L = (2,5...3,8) \cdot d_H \quad (2.4)$$

Из условия не прохождения мяса (наматывания на вал шнека) минимальный шаг шнека  $t_{min}$  принимается равным, м:

$$t_{min} = (0,7...0,8) \cdot d_H \quad (2.5)$$

Определяем угол подъема винтовой линии  $\beta$  по формуле:

$$\beta = \arctg \left[ \frac{t}{(\pi \cdot d_H)} \right], \quad (2.6)$$

где  $t$  – шаг шнека, м.

Угол подъема последнего витка принимается  $\beta_n = 7...10^\circ$ .

Определяем шаг последнего витка шнека  $t_n$ ;

$$t_n = tg \beta_n \cdot (\pi \cdot d_H) \quad (2.7)$$

Определяем количество витков шнека  $m$ , шт:

$$m = L / t_{min} \quad (2.8)$$

Учитывая переменность шага, округляем кратно 0,5.

2. Определяем суммарную площадь отверстий в решетках.

Площадь отверстий в подрезной решетке.

$$F_{o1} = [\pi \cdot (r_{max}^2 - r_{min}^2) - 3 \cdot b \cdot l], \quad (2.9)$$

где  $r_{max}$ ,  $r_{min}$  – наружный и внутренний радиусы отверстий подрезной решетки, м:

$$r_{max} = (D/2) - 0,005$$

$$r_{\min} = d_6/2$$

$b$  – ширина перемиčky подрезной решетки, м:

$$b = (0,14...0,15) \cdot D$$

$l$  – длина лезвия подрезной решетки, м:

$$l = (r_{\max} - r_{\min}) - 0,001$$

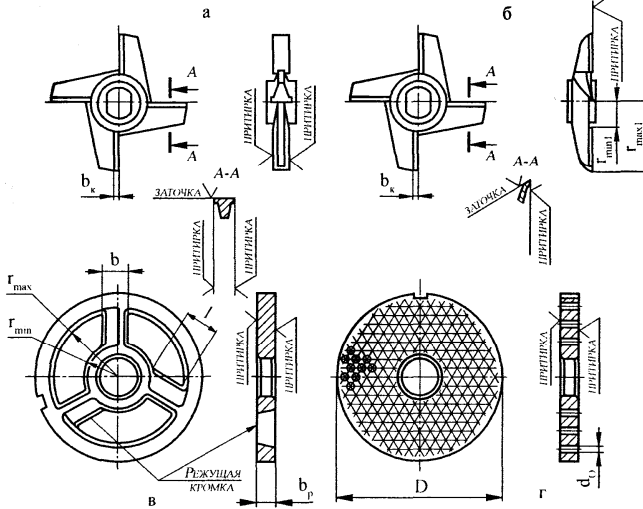


Рис. 2.2. Режущие инструменты мясорубки:  
 а - двусторонний нож; б - односторонний нож;  
 в - подрезная ножевая решетка; г - ножевая решетка.

Суммарная площадь отверстий в первой ножевой решетке:

$$F_0^1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot z_1, \quad (2.10)$$

где  $d_1$  – диаметр отверстия в решетке, м;

$z_1$  – количество отверстий в ножевой решетке, шт.

Суммарная площадь отверстий в первой ножевой решетке:

$$F_0^2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot z_2, \quad (2.11)$$

где  $d_2$  – диаметр отверстия в решетке, м;

$z_2$  – количество отверстий в ножевой решетке, шт.

3. Определяем скорость продвижения продукта  $v_0$ , м/с:

$$v_0 = \frac{\pi \cdot n}{60} (r_H + r_B) \cdot \operatorname{tg} \beta_n \cdot k_B, \quad (2.12)$$

где  $n$  – частота вращения шнека,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$r_H, r_B$  – наружный и внутренний радиусы последнего витка шнека, м;

$\beta_n$  – угол подъема винтовой линии последнего витка шнека, град;  
 $k_e$  – коэффициент объемной подачи продукта,  $k_e = 0,35 \dots 0,40$ .

4. Определяем производительность мясорубки  $Q$ , кг/ч:

$$Q = 3600 \cdot F_{ol} \cdot v_o \cdot \rho \cdot \varphi, \quad (2.13)$$

где  $F_{ol}$  – суммарная площадь отверстий в подрезной решетке,  $\text{м}^2$ ;

$v_o$  – скорость продвижения продукта через отверстия первой ножевой решетки, м/с;

$\rho$  – плотность продукта,  $\text{кг/м}^3$ ,  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;

$\varphi$  – коэффициент использования площади отверстий первой ножевой решетки, практически  $\varphi = 0,7 \dots 0,8$ .

5. Определяем площадь ножевой решетки  $F_p$ ,  $\text{м}^2$ :

$$F_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2.14)$$

6. Определяем коэффициент использования площади решетки: подрезной ножевой решетки

$$K_{n,p} = \frac{F_{ol}}{F_p}; \quad (2.15)$$

первой ножевой решетки

$$K_{p1} = \frac{F_o^1}{F_p}; \quad (2.16)$$

второй ножевой решетки

$$K_{p2} = \frac{F_o^2}{F_p}. \quad (2.17)$$

7. Проверяем производительность шнекового устройства  $Q_{ш}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  мясорубки по формуле:

$$Q_{ш} = F \cdot \varphi_k \cdot v \quad (2.19)$$

где  $F$  – площадь нормального сечения винтовой канавки шнека,  $\text{м}^2$ ;

$\varphi_k$  – коэффициент заполнения продуктом сечения канавки,  $\varphi_k = 0,6 \dots 0,8$ ;

$v$  – средняя скорость перемещения продукта по винтовой спирали, м/с.

Нормальное сечение  $F$  винтовой канавки шнека имеет обычно форму, близкую к параболическому сегменту (рис. 2.1), и может быть принято равным:

$$F = \frac{2}{3} u \cdot e, \quad (2.20)$$

где  $u$  – ширина винтовой канавки шнека по его наружному диаметру  $d_H$ , м:

$$u = (t_{min} + t_n) \cdot 0,5 - s, \quad (2.21)$$

здесь  $s$  – толщина витка, м ( $s = 3 \dots 5 \text{ мм}$ );

$e$  – глубина винтовой канавки на диаметре  $d_e$ , м:

$$e = 0,5 \cdot (d_H - d_B). \quad (2.22)$$

Средняя скорость перемещения продукта по винтовой спирали  $v$ , м/с:

$$v = \frac{v_z}{\cos \beta_n}, \quad (2.23)$$

где  $v_z$  – окружная скорость в осевом сечении винтовой канавки в последнем витке, м/с:

Средняя окружная скорость продукта  $v_z$  зависит от окружной скорости шнека, но меньше нее из-за обратного проскальзывания продукта по поверхности шнека:

$$v_z = \pi \cdot d_{cp} \cdot n \cdot k_{ск} \quad (2.24)$$

где  $d_{cp}$  – средний диаметр шнека, м:

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (d_H + d_B). \quad (2.25)$$

$n$  – частота вращения шнека, с<sup>-1</sup>;

$k_{ск}$  – коэффициент проскальзывания продукта относительно поверхности витков шнека,  $k_{ск} = 0,3 \dots 0,4$ .

Должно выполняться условие.

$$Q_{ш} \geq Q.$$

8. Технологическая мощность мясорубки  $N$ , (Вт) рассчитывается по формуле:

$$N = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) / \eta \quad (2.26)$$

где  $N_1$  – мощность, необходимая для разрезания продукта в режущем механизме, Вт;

$N_2$  – мощность, необходимая для преодоления трения в режущем механизме, Вт;

$N_3$  – мощность, необходимая для преодоления трения продукта о поверхность шнека, Вт;

$N_4$  – мощность, затрачиваемая на продвижение продукта через режущий механизм, Вт.

$\eta$  – КПД механического привода,  $\eta = 0,9$ .

9. Мощность, необходимая для разрезания продукта в режущем механизме, определяется по формуле:

$$N_1 = F_p \cdot (K_{н.р.} + 2K_{p1} + K_{p2}) \cdot \frac{n}{60} \cdot a \cdot z, \quad (2.27)$$

где  $F_p$  – площадь ножевой решетки, м<sup>2</sup>;

$K_{н.р.}$ ,  $K_{p1}$ ,  $K_{p2}$  – коэффициенты использования площади решеток, соответственно, подрезной, промежуточной и выходной;

$a$  – удельный расход энергии на разрезание продукта, Дж/м<sup>2</sup>,  $a = (2,5 \dots 3,5) \cdot 10^3$  Дж/м<sup>2</sup>.

$n$  – частота вращения шнека, мин<sup>-1</sup>;

$z$  – количество перьев двустороннего ножа, шт.

10. Мощность, необходимая на преодоление трения в режущем механизме:

$$N_2 = \frac{\pi \cdot n}{60} \cdot P_3 \cdot (r_{\max 1} + r_{\min 1}) \cdot f_1 \cdot z, \quad (2.28)$$

где  $P_3$  – усилие затяжки режущего механизма, Н;

$r_{\max 1}$ ,  $r_{\min 2}$  – наружный и внутренний радиусы ножа (рис.2.2), м:

$$r_{maxl} = r_{max} + 0,001$$

$$r_{minl} = r_{min} - 0,0015$$

$f_1$  – коэффициент трения скольжения ножа по решетке в условиях смазывания соком продукта,  $f_1 = 0,1$ .

Усилие затяжки режущего механизма определяется по формуле:

$$P_3 = P_y \cdot b_k \cdot z \cdot (r_{maxl} - r_{minl}), \quad (2.29)$$

где  $P_y$  – усредненное удельное давление на поверхности контакта ножей и решеток, Па,  $P_y = (2...3) \cdot 10^6$  Па;

$b_k$  – ширина площадки контакта лезвия ножа и решетки (рис.2.2), м,  $b_k \approx 0,002$  м.

11. Мощность, необходимая для преодоления трения продукта о поверхность шнека:

$$N_3 = \frac{\pi^2 n}{45} \cdot P_y \cdot f \cdot m \cdot k_B \cdot (r_H^3 - r_B^3), \quad (2.30)$$

здесь  $f$  – коэффициент трения продукта о шнек,  $f = 0,3...0,5$ ;

$m$  – количество витков шнека, шт.

12. Мощность, затрачиваемая на продвижение продукта через режущий механизм:

$$N_4 = \pi \cdot (r_H^2 - r_B^2) \cdot P_l \cdot v_0, \quad (2.31)$$

где  $P_l$  – давление за последним витком шнека, Па,

$$P_l = P_l^n + P_l^{ln} + P_l^{2n} \quad (2.32)$$

Давление за последним витком, представляющее собой сумму давлений продавливания продукта ( $P_n$ ) через каждую решетку, рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{для подрезной решетки } (d_o \approx l) \quad P_l^n = \frac{4 \cdot \tau}{l}; \quad (2.33)$$

$$\text{для первой ножевой решетки} \quad P_l^{ln} = \frac{4 \cdot \tau}{d_1}; \quad (2.34)$$

$$\text{для второй ножевой решетки} \quad P_l^{2n} = \frac{4 \cdot \tau}{d_2}. \quad (2.35)$$

где  $\tau$  – напряжение среза мяса, Н/м,  $\tau \approx 300$  Н/м.

13. Определяем технологическую мощность мясорубки по формуле (2.26)

### 3. РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА РАСЧЁТ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Целью расчета является проектирование распылительной дисковой сушилки непрерывного действия. Исходные данные приведены в табл. 3.1

Таблица 3.1 Варианты исходных данных для расчета распылительной сушилки

Последняя цифра шифра	Влажный продукт	$G_1$ , кг/ч	$u_1$ , %	$u_2$ , %	$\varphi_0$ , %	Предпоследняя цифра шифра	Температура воздуха			$A$ , кг/м <sup>3</sup> ·ч
							$t_0$ , °C	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	
1	молоко	770	48	2,5	55	1	15	180	90	4,5
2	сливки	250	40	2	60	2	20	140	70	2,5
3	молоко	750	59	4	65	3	25	135	65	3,5
4	сливки	730	49	2,8	70	4	18	170	80	4
5	молоко	400	42	2,2	75	5	15	145	75	3
6	сливки	500	54	3,5	55	6	22	140	75	4,2
7	молоко	550	55	2,5	65	7	20	160	85	4
8	сливки	600	39	2,1	70	8	12	130	60	2,5
9	молоко	430	55	3,6	45	9	15	130	65	4
0	сливки	350	57	3	40	0	10	165	85	2,7

Таблица 3.2 Исходные данные для расчета распылительной дисковой сушилки

Показатель	Единица измерения	Условное обозначение	Значение
Массовая производительность установки по поступающему продукту	кг/ч	$G_1$	
Содержание влаги в молоке			
начальное	%	$u_1$	
конечное	%	$u_2$	
Температура наружного воздуха	°C	$t_0$	
Температура воздуха после калорифера	°C	$t_1$	
Температура воздуха на выходе из сушилки	°C	$t_2$	
Относительная влажность наружного воздуха	%	$\varphi_0$	
Напряженность объёма сушилки по влаге	кг/м <sup>3</sup> ·ч	$A$	

### 3.1. Материальный расчёт

3.1.1 Массовый расход удалённой влаги  $W$ , кг/ч:

$$W = G_1 \cdot \frac{u_1 - u_2}{100 - u_2} \quad (3.1)$$

3.1.2 Производительность сушилки по сухому молоку  $G_2$ , кг/ч:

$$G_2 = G_1 \cdot \frac{100 - u_1}{100 - u_2} \quad (3.2)$$

3.1.3 Проверка по расходу удалённой влаги  $W$ , кг/ч:

$$W = G_1 - G_2 \quad (3.3)$$

3.1.4 Используя **I-x** – диаграмму Рамзина для влажного воздуха, определяем начальное ( $x_0$ ) и конечное ( $x_2$ ) влагосодержание воздуха, а также характерные энтальпии. На пересечении линий  $t_0$  и  $\phi_0$  находим точку А, характеризующую начальное состояние наружного воздуха. Из точки А, опустив перпендикуляр на ось  $x$  находим значение  $x_0$ , кг/кг. Через точку А проходит линия постоянной энтальпии (изоэнтальпа)  $I_0$ , кДж/кг. Из точки А, поднявшись по перпендикуляру до пересечения с изотермой  $t_1$ °С, находим точку В характеризующую состояние воздуха на выходе из калорифера перед подачей в сушильную камеру. От точки В движемся вниз по изоэнтальпе  $I_1$ , кДж / кг до пересечения с изотермой  $t_2$ , получив точку С. Из точки С, опустив перпендикуляр на ось  $x$ , находим значение  $x_2$  кг/кг.

3.1.5 Определяем теоретический удельный расход воздуха  $l_0$  в сушилке.

$$l_0 = \frac{1}{x_2 - x_0} \quad (3.4)$$

3.1.6 Рассчитываем теоретический расход воздуха в сушилке ( $L$ , кг/ч).

$$L = l_0 \cdot W, \text{ кг/ч} \quad (3.5)$$

### 3.2 Тепловой расчёт

3.2.1 Составляем уравнение теплового баланса для сушильной камеры.

$$L \cdot I_1 + G_1 \cdot c_1 \cdot T_1 = L \cdot I_2 + G_2 \cdot c_2 \cdot T_2 + Q_n \quad (3.6)$$

где  $Q_n$  – тепловые потери, которые с учётом правильно наложенной изоляции принимаем 5% от теплоты, поступившей с горячим воздухом.

$$Q_n = 0,05 \cdot L \cdot I_1 \quad (3.7)$$

$T_1$  – температура молока, поступающего в сушильную камеру, (принимая  $T_1 = 60^\circ \text{C}$ );

$T_2$  – температура сухого порошкообразного молока, выходящего из сушильной камеры,  $^\circ \text{C}$ .

Определяем значения удельных теплоемкостей  $c_1 - c_2$  (кДж/кг·°С).

3.2.2 Из уравнения теплового баланса определяем затраты тепла на сушку в сушильной камере ( $\sum Q$ ) и тепловую поправку ( $\Delta$ ) на действительный тепловой процесс.





Парциальное давление. кПа

$$L \cdot I_2 - L \cdot I_1 = G_2 \cdot c_2 \cdot T_2 - G_1 \cdot c_1 \cdot T_1 + Q_n \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} L \cdot (I_2 - I_1) &= G_2 \cdot c_2 \cdot T_2 - G_1 \cdot c_1 \cdot T_1 + Q_n \\ [L \cdot (I_2 - I_1)] / W &= (G_2 \cdot c_2 \cdot T_2 - G_1 \cdot c_1 \cdot T_1 + Q_n) / W \\ G_2 \cdot c_2 \cdot T_2 - G_1 \cdot c_1 \cdot T_1 + Q_n &= \Sigma Q \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$\Delta = \Sigma Q / W \quad (3.10)$$

или

$$l \cdot (I_2 - I_1) = \Delta \quad (3.11)$$

где  $\Sigma Q$  – алгебраическая сумма теплот в сушильной камере, кВт.

$\Delta$  – тепловая поправка на действительный (реальный) сушильный процесс, кДж/кг.

Определяем действительную энтальпию воздуха  $I_2$  (кДж/кг) из выражения (3.11):

$$I_2 = I_1 + \Delta / l \quad (3.12)$$

3.2.3. Корректируем расход воздуха на действительный сушильный процесс.

Находим точку  $C_1$  на пересечении изоэнтальпы  $I_2$  и изотермы  $t_2$ . Соединяем прямой точки В и  $C_1$ . Имеем ломаную линию  $ABC_1$  Характеризующую действительный сушильный процесс. Из точки  $C_1$ , опустив перпендикуляр на ось  $x$ , определяем действительное влагосодержание воздуха на выходе из сушильной камеры  $x_2$ , кг/кг.

Тогда действительный удельный расход воздуха определится:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_0} \quad (3.13)$$

3.2.4. Рассчитываем действительный расход воздуха (кг/с) в сушилке.

$$L = l \cdot W \quad (3.14)$$

### 3.3 Геометрический расчёт

Целью расчёта является определение основных габаритных размеров сушильной башни (камеры). Сушилка имеет цилиндрическо-коническую полую форму. Основной технологический объём - внутренний объём цилиндрической камеры, в котором происходит непосредственная сушка жидкого продукта при диспергировании (распылении). В верхней части внутреннего объёма установлен привод с распыливающим диском. Сухой горячий воздух подаётся снизу под диск при помощи завихряющей головки, соединённой с воздухопроводами.

3.3.1 Определяем объём сушильной камеры  $V_k$ , м<sup>3</sup>:

$$V_k = \frac{W}{A}. \quad (3.15)$$

3.3.2 Определяем скорость воздуха по эмпирической формуле  $v_b$ , м/с:

$$v_b = 0,0127 \cdot \sqrt{W}. \quad (3.16)$$

3.3.3 Площадь сечения сушильной камеры ( $F_{\kappa}$ ) определяем из уравнения расхода:

$$F_{\kappa} = \frac{V_c}{v_{\kappa}} = \frac{L}{\rho_{\kappa} \cdot v_{\kappa}}. \quad (3.17)$$

где  $\rho_{\kappa}$  – плотность нагретого воздуха, поступающего из калорифера, кг/м<sup>3</sup>.

3.3.4 Определяем диаметр камеры ( $D_{\kappa}$ ) по пропускной способности воздушного потока

$$D_{\kappa} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\kappa}}{\pi}}. \quad (3.18)$$

3.3.5 Высота сушильной камеры при геометрическом коэффициенте  $K=1,5$ :

$$H_{\kappa} = 1,5 \cdot D_{\kappa} \quad (3.19)$$

3.3.6 Объём сушильной камеры ( $V_{\kappa}$ )

$$V_{\kappa} = \frac{\pi \cdot D_{\kappa}^2}{4} \cdot H_{\kappa}. \quad (3.20)$$

### 3.4. Расчет параметров распыла

При распылении жидкого продукта при помощи быстровращающегося диска необходимо рассчитать радиус факела распыливаемой жидкости. Радиус распыла должен быть меньше радиуса сушильной камеры. Для нормального протекания процесса сушки. Если данное соотношение не выполняется, то необходимо выполнить перерасчёт диаметра камеры.

3.4.1 Определяем диаметр капель при распылении ( $d$ ) диском

$$d = 98,5 \cdot \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l \cdot R_d \cdot g}} \quad (3.21)$$

где  $n$  – частота вращения диска, мин<sup>-1</sup>;  $n = 6000 \dots 25000$  мин<sup>-1</sup>; принимаем  $n = 10000$  мин<sup>-1</sup>.

$R_d$  – радиус диска, м;

$\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения продукта, Н/м.

По начальной температуре продукта  $T_1$  °С находим в таблице приложения значение  $\sigma$  в Н/м.

Диаметры дисков распылительных сушилок в мм: 60; 78; 120; 128; 152; 178; 180; 210; 220; 250; 270; 280; 300; 320

3.4.2 Диаметр капель по формуле Андреева ( $d$ )

$$d = \frac{0,0425}{\sqrt[3]{\rho_l \cdot v_n^2}} \quad (3.22)$$

где  $v_n$  – средняя скорость капли при  $n$ , мин<sup>-1</sup> и  $D$  м.

$$v_n = (\pi \cdot D \cdot n) / 60$$

$\rho_l$  – начальная плотность сгущенного молока, подаваемого в каналы диска, ( $\rho_l = 1080$  кг/м<sup>3</sup>).

3.4.3 Рассчитываем радиус факела распыла  $R_{\Phi}$

$$R_{\phi} = \frac{27,7 \cdot d \cdot \rho_{\text{ср}}}{c \cdot \rho_{\text{с}}} \cdot \lg \frac{v_n}{v_{\kappa}} \quad (3.23)$$

где  $\rho_{\text{ср}}$  – средняя плотность продукта при распылении, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{\text{ср}} = 0,5 \cdot (\rho_1 + \rho_2),$$

$v_n$  – начальная скорость, м/с;

$v_{\kappa} = 0,4$  м/с – конечная рекомендуемая скорость.

4.4 Диаметр факела распыла с учетом диаметра диска

$$D_{\phi} = 2 \cdot R_{\phi} + D \quad (3.24)$$

Проверяют соотношение

$$D_{\kappa} > D_{\phi}$$

3.4.5 Высоту конической части сушильной камеры выбираем согласно принятым соотношениям для сушилок:

$$H_{\text{кон}} = 0,4 \cdot H \quad (3.25)$$

3.4.6 Полная высота сушильной камеры

$$H = H_{\text{кон}} + H_{\kappa} \quad (3.26)$$

### 3.5 Расчет калорифера

Сушильная установка комплектуется необходимым оборудованием, в том числе калориферами для подогрева воздуха. В настоящее время, в основном, применяют пластинчатые калориферы, обогреваемые паром или водой. Цель расчета – определение площади теплопередачи калорифера и его типоразмера по каталогу.

3.5.1 Рассчитываем тепловую нагрузку калорифера ( $Q_{\kappa}$ )

$$Q_{\kappa} = L \cdot (I_1 - I_0). \quad (3.26)$$

3.5.2 Определяем коэффициент теплопередачи  $K$  для пластинчатого калорифера (КФСО или КФБО).

$$K = 10 \cdot (\rho v_{\kappa})^{0,68} \quad (3.27)$$

где  $\rho v_{\kappa}$  – массовая скорость воздуха в калорифере: согласно рекомендациям принимаем  $\rho v_{\kappa} = 5 \dots 15$  кг/(м<sup>2</sup>·с) в зависимости от скорости движения воздуха в калорифере.

3.5.3 Рассчитываем среднюю логарифмическую разность температур греющего пара и воздуха в калорифере ( $\Delta t$ ) при противотоке.

Температуру пара ( $t_n$ ) принимаем выше конечной температуры воздуха ( $t_1$ ) с учетом низкой теплопроводности воздуха:

$$t_n = t_1 + (20 \dots 30)^{\circ}\text{C} \quad (3.28)$$

Большая разность температур:

$$\Delta t_{\theta} = t_n - t_0.$$

Меньшая разность температур:

$$\Delta t_m = t_n - t_1.$$

Тогда

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}}; \quad (3.29)$$

3.5.4 Определяем площадь теплопередачи ( $F$ ) калорифера.

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (3.30)$$

3.5.5 Анализируя параметры калориферов КФСО и КФБО из таблиц приложения, принимаем число калориферов  $n$ , тогда площадь одного калорифера:

$$F_k = F/n \quad (3.31)$$

3.5.6 Выбираем по таблице Приложения  $n$  калориферов модели КФСО или КФБО с характерными параметрами:

Площадь теплопередачи  $F_k$ ,

Живое сечение калорифера  $f_k$

Опытные коэффициенты:  $b, n, e, m$ .

Расчетные коэффициенты:  $M, S, 1/(m+1)$

3.5.7 Определяем количество параллельно установленных калориферов:

$$z_y = L / f_k \cdot \rho_v \quad (3.32)$$

3.5.8 Определяем количество последовательно установленных калориферов:

$$z_x = F / F_k \cdot z_y \quad (3.33)$$

3.5.9 Установочная поверхность теплопередачи калориферной станции:

$$F_{ycm} = F_k \cdot z_x \cdot z_y \quad (3.34)$$

3.5.10 Сопротивление (потери напора) калорифера  $h_k$

$$h_k = e \cdot (\rho_v)^m \quad (3.35)$$

3.5.11 Сопротивление (потери напора) калориферной станции  $h_{k0}$

$$h_{k0} = h_k \cdot x \quad (3.36)$$

3.5.12 Уточняем скорость воздуха, проходящего через калориферную станцию  $v_k^*$

$$v_k^* = V_c / f_k \quad (3.37)$$

3.5.13 Уточняем коэффициент теплопередачи калориферной станции для пластинчатых калориферов КФБО и КФСО:

$$K = 10 \cdot (\rho_{cp} \cdot v_k^*)^{0.68} \quad (3.38)$$

где  $\rho_{cp}$  – средняя плотность воздуха в сушилке, принимаемая при  $t_0$  и  $t_1$ .

### 3.6 Расчет вентилятора

Помимо калорифера сушильная установка комплектуется вторым вспомогательным оборудованием – вентилятором для подачи наружного (свежего) воздуха, который проходит через калорифер, сушильную камеру и пылеулавливающие устройства.

Цель расчёта – определение потерь напора, избыточного давления, мощности вентилятора (вентиляторной станции) и подбор его по каталогу.

Объёмный расход воздуха берётся для летних условий (определён выше в тепловом расчёте).

3.6.1 Определяем диаметр воздуховода, исходя из рекомендуемой технологической средней скорости воздуха  $v_b = 5 \dots 12$  м/с. Принимаем  $v_b = 10$  м/с.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot v_b}}. \quad (3.39)$$

3.6.2 Потери давления в воздуховодах ( $\Delta p_{\text{в}}$ ):

$$\Delta p_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{в}} \cdot v_b^2}{2}. \quad (3.40)$$

3.6.3 Потери давления в сушильной камере принимаем согласно опытом данным для распылительных дисковых сушилок  $\Delta p_{\text{ск}} = 1000$  Па. Потери напора в калорифере рассчитаны ранее  $h_{\text{кф}}$ . Тогда потери давления в калорифере:

$$\Delta p_{\text{к}} = \rho_{\text{ск}} \cdot g \cdot h_{\text{к}} \quad (3.41)$$

3.6.4 Полные потери давления в сушильной установке:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{в}} + \Delta p_{\text{ск}} + \Delta p_{\text{к}} \quad (3.42)$$

3.6.5 Полезная мощность вентилятора ( $N_n$ ):

$$N_n = \Delta p \cdot V_c \quad (3.43)$$

3.6.6 Полная мощность вентилятора (мощность электродвигателя) ( $N$ ):

$$N = N_n / \eta \quad (3.44)$$

3.6.7 Выбираем по таблице Приложения вентилятор определенного типа. По характеристике при  $\Delta p$  и  $V_c$  находим номер вентилятора № с частотой вращения  $n$ , мин<sup>-1</sup>.

**Приложение 1**  
**Физические свойства сухого насыщенного пара**

Давление, 10 <sup>5</sup> Па	Температура, °С	Удельный объем, м <sup>3</sup> /кг	Энтальпия, кДж/кг	Скрытая теплота парообразования, кДж/кг
0,1	45,45	14,95	2585,2	2395,0
0,2	59,67	7,795	2610,8	2361,1
0,3	68,68	5,323	2626,3	2338,9
0,4	75,42	4,069	2637,6	2321,7
0,5	80,86	3,301	2646,4	2307,9
0,6	85,45	2,783	2653,9	2296,1
0,8	92,99	2,125	2665,7	2276,0
1,0	99,09	1,725	2675,3	2260,1
1,5	110,79	1,180	2693,3	2228,7
2,0	119,62	0,902	2705,9	2203,5
2,5	126,79	0,732	2716,4	2183,4
3,0	132,88	0,617	2724,8	2165,8
3,5	138,19	0,534	2731,5	2149,9
4,0	142,92	0,471	2737,7	2136,1
4,5	147,20	0,421	2743,2	2123,1
5,0	151,11	0,382	2747,8	2123,1
6,0	158,08	0,321	2756,2	2088,7
7,0	164,17	0,278	2762,9	2069,0
8,0	169,61	0,245	2768,8	2051,0
9,0	174,53	0,219	2773,8	2034,7
10,0	179,04	0,199	2778,0	2018,7
11,0	183,20	0,181	2781,7	2004,1
12,0	187,08	0,166	2785,1	1990,2
13,0	190,71	0,154	2788,0	1977,3
14,0	194,13	0,144	2790,5	1964,7
15,0	197,36	0,134	2793,0	1952,5

**Приложение 2**  
**Основные физические свойства молока**

t, °С	ρ, кг/м <sup>3</sup>	c, кДж/(кг·К)	λ, Вт/(м·К)	μ·10 <sup>-6</sup> , Па·с	ν·10 <sup>-6</sup> , м <sup>2</sup> /с	Pr
5	1032,6	3,868	0,486	2965,6	2,87	30,20
10	1031,7	3,870	0,489	2469,6	2,39	20,00
15	1030,7	3,880	0,492	2097,2	2,04	17,00
20	1028,7	3,890	0,495	1784,0	1,74	14,30
25	1027,3	3,895	0,499	1529,0	1,50	11,80
30	1024,8	3,900	0,500	1323,0	1,30	10,60
35	1023,2	3,906	0,501	1196,0	1,16	9,05
40	1020,9	3,910	0,506	1078,0	1,02	7,50

## Продолжение приложения 2

t, °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	c, кДж/(кг·K)	$\lambda$ , Вт/(м·K)	$\mu \cdot 10^{-6}$ , Па·с	$\nu \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup> /с	Pr
45	1018,8	3,918	0,510	940,8	0,92	7,00
50	1015,9	3,870	0,516	852,6	0,84	6,50
55	1014,0	3,867	0,517	764,4	0,76	6,00
60	1011,1	3,850	0,518	705,6	0,70	5,35
65	1008,7	3,850	0,520	646,8	0,65	5,00
70	1005,2	3,850	0,524	617,4	0,62	4,65
75	1003,0	3,850	0,528	588,0	0,58	4,40
80	1000,3	3,850	0,530	568,4	0,56	4,20
85	996,0	3,850	0,530	558,6	0,54	4,12
90	999,0	3,850	0,531	548,8	0,52	4,07
95	990,0	3,850	0,538	539,0	0,49	4,00
100	887,0	3,850	0,542	529,2	0,48	3,84

## Приложение 3

### Основные физические свойства сливок

t, °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	c, кДж/(кг·K)	$\lambda$ , Вт/(м·K)	$\mu \cdot 10^{-3}$ , Па·с	$\nu \cdot 10^{-3}$ , м <sup>2</sup> /с	Pr
5	1002,2	3,268	0,286	78,4	0,07848	895
10	1002,2	3,687	0,295	39,2	0,03924	490
15	996,9	4,119	0,306	17,2	0,01717	319
20	993,9	4,022	0,317	11,8	0,01177	148
25	991,5	4,106	0,321	8,9	0,00883	114,75
30	988	3,855	0,324	7,0	0,00687	81,50
35	985	3,687	0,329	5,5	0,00540	64,35
40	983	3,570	0,334	4,5	0,0044	47,20
45	932	3,612	0,340	4,2	0,00392	36,00
50	980	3,599	0,345	2,6	0,00255	26,00
55	980	3,599	0,351	2,57	0,00252	25,55
60	974	3,603	0,358	2,57	0,00250	25,10
65	971	3,603	0,367	2,54	0,00247	23,10
70	965	3,603	0,381	2,54	0,00245	23,10
75	964	3,603	0,390	2,54	0,00245	23,00
80	962	3,603	0,398	2,55	0,00245	23,00
85	960	3,603	0,395	2,54	0,00244	22,50
90	960	3,603	0,395	2,53	0,00243	22,00
95	960	3,603	0,395	2,52	0,00242	21,75
100	960	3,603	0,395	2,50	0,00240	21,63



## Приложение 4

### Коэффициент поверхностного натяжения молока и сливок $\sigma$ , Н/м

t, °C	Обезжиренное молоко жирностью, %				Молоко жирностью, %				Сливки жирностью, %		
	0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,5	3,2	4,0	10	20	22
0	0,0532	0,0533	0,0538	0,053	0,0491	0,0487	0,0457	0,0491	0,0543	0,0548	0,0538
5	0,0500	0,0522	0,0551	0,0490	0,0485	0,0472	0,0452	0,0486	0,0512	0,0534	0,0500
10	0,0496	0,0497	0,0532	0,0522	0,0478	0,0459	0,0444	0,0491	0,0486	0,0494	0,0488
15	0,0483	0,0484	0,0534	0,0523	0,0453	0,0455	0,0436	0,0484	0,0475	0,0485	0,0456
20	0,0472	0,0465	0,0519	0,0511	0,0436	0,0435	0,0424	0,0465	0,0464	0,0473	0,0454
30	0,0447	0,0464	0,0504	0,0497	0,0435	0,0435	0,0424	0,0458	0,0448	0,0448	0,0437
40	0,0439	0,0432	0,0488	0,0485	0,0441	0,0448	0,0419	0,0446	0,0441	0,0444	0,0435
50	0,0426	0,0419	0,0470	0,0460	0,0424	0,0422	0,0418	0,0446	0,0427	0,0433	0,0427
60	0,0390	0,0407	0,0446	0,0430	0,0414	0,0412	0,0416	0,0420	0,0419	0,0425	0,0417
70	0,0390	0,0393	0,0419	0,0412	0,0399	0,0398	0,0400	0,0411	0,0413	0,0398	0,0405
80	0,0379	0,0386	0,0411	0,0388	0,0324	0,0322	0,0395	0,0382	0,0386	0,0254	0,0375

## Приложение 5

### Технические характеристики стальных оребренных калориферов марок КФСО, КФБО.

Номер калорифера	Модель КФСО		Модель КФБО	
	$f_k, м^2$	$F_k, м^2$	$f_k, м^2$	$F_k, м^2$
2	0,0913	9,77	0,0913	13,02
4	0,153	17,06	0,143	20,78
5	0,187	21	0,182	26,88
6	0,227	71	0,222	32,65
7	0,271	26,29	0,271	40,06
8	0,318	30,05	0,318	47,04
9	0,378	35,28	0,375	55,86
10	0,431	48,22	0,431	64,29
11	0,496	55,84	0,475	71,06

Примечание. КФСО - средняя модель; КФБО - большая модель.

### Коэффициенты для калориферов КФСО, КФБО.

Модель калорифера	Опытные коэффициенты				Расчётные коэффициенты		
	b	n	e	m	M	S	1/(m+l)
КФСО	16	0,439	0,335	2,01	0,51	112	0,332
КФБО	14,2	0,456	0,430	1,94	0,426	148	0,340

## Приложение 6

### Физические свойства сухого воздуха при атмосферном давлении

t, °C	$\rho$ кг/м <sup>3</sup>	$c$ , кДж/кг·К	$\lambda \cdot 10^{-2}$ Вт/м·К	$\mu \cdot 10^{-6}$ Па·с	$\nu \cdot 10^{-6}$ м <sup>2</sup> /с	Pr
0	1,293	1,005	2,44	17,17	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	17,66	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	18,15	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	18,64	16	0,701
40	1,128	1,005	2,76	19,13	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	19,62	17,95	0,698
60	1,06	1,005	2,89	20,11	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,09	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	21,48	22,1	0,69

## Приложение 7

### Технические характеристики

#### Вентиляторы взрывозащищенные из алюминиевых сплавов

Типоразмер вентилятора	Двигатель		Частота вращения, об/мин	Параметры в рабочей зоне	
	Типоразмер	Мощность, кВт		Производительность, 10 <sup>3</sup> , м <sup>3</sup> /ч	Полное давление, Па
BP 280 46 BA №2,5	АИМЛ 71А4	0,55	1500	1,0-2,3	420-500
	АИМЛ80В2	2,2	3000	2,0-2, 6	1700-1850
	АИМЛ901_2	3,0	3000	2,0- 3,5	1700-1980
	АИМЛ 100S2	4,0	3000	2,0-4,3	1700-2000
	АИМЛ 100L2	5,5	3000	2,0-4,5	1700-2000
BP 280-46 BA №3,15	АИМЛ 71 В6	0 55	1000	1,45-2,6	340-390
	АИМЛ 80 А6	0,75	1000	1,45-3,5	340-375
	АИМЛ80В4	1,5	1500	2,2-3,6	740-860
	АИМЛ 90L4	2,2	1500	2 2-5 3	740-890
BP 230-46 BA №4	АИМЛ 100L6	2,2	1000	2,7-6,8	590-690
	АИМП112М А6	3,0	1000	2,7-7,4	550-680
	АИМЛ 112М4	5,5	1500	4,3-8, 7	1310-1560
	BA 132S4	7,5	1500	4,3-10,7	1310-1575
BP 280-46 BA №5	BA132S6	5,5	1000	5,6- 12,0	860-1160
	8A132M6	7,5	1000	5,6-14,5	860-1195
BP 280-46 BA №6,3	BA132M8	5,5	750	7,5-13,0	810-990
	BA160S8	7,5	750	7,5-16,0	810-1050
	BA160M8	11	750	7,5-22,0	810-1040
BP 280-46 BA №8	BA200M8	18,5	750	14,5-26,2	1300-1600
	BA200L8	22	750	14 5-32,0	1300-1680
	BA225M8	30	750	14,5-38,5	1300-1700

## Приложение 8

### Физико-механические характеристики зерновых культур и сорных примесей

Культура	Линейные размеры, мм			Вес 1000 зерен, гс	объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	плотность, кг/м <sup>3</sup>	коэффициент внутреннего трения	Коэффициент внешнего трения			Скорость витания, м/с
	длина	ширина	толщина					по дереву	по стали	по бетону	
пшеница	4,8-8,6	1,6-4,0	1,5-3,8	20-40	650-815	1270-149	0,47	0,4	0,37	0,4	9-12
рожь	5,0-10,0	1,4-3,6	1,2-3,5	32	730	1230	0,49	0,4	0,37	0,42	8,5-10
овес	8,0-18,6	1,4-4,0	1,0-4,0	20-42	400-520	1150-1250	0,51	0,45	0,37	0,45	8,9
ячмень	7,0-14,6	2,0-5,0	1,2-4,5	31-51	600-715	1230-1300	0,51	0,4	0,37	0,43	8,5-11
кукуруза	5,5-13,5	5,0-11,5	2,5-8,0	286	600-770	1240-1350	0,53	0,35	0,37	0,42	8,5-11
гречиха	4,2-6,2	2,8-3,7	2,4-3,4	21	510-700	1180-1280	0,52	0,44	0,37	0,42	8,3-9,7
просо	1,8-3,2	1,5-2,0	1,5-1,7	7	700-830	1150	0,52	0,4	0,34	0,34	8,3
рис	5,0-7,0	2,5-2,8	2,0-2,5	19	650-750	1300-1400	0,51	0,44	0,37	0,43	8,5-11
горох	4,0-9,5	4,0-9,0	3,0-9,0	135	750-800	1260-1350	0,55	0,32	0,37	0,3	15,5-17,5
мука хлебопекарная	0,05-0,1				550-600	1360	1,42	0,7-0,85	0,4-0,65		1,3
мука макаронная	0,150-0,53				770-900	1460	1,42	0,7-0,85	0,4-0,65		1,3
куколь	2,8-4,4	2,0-3,8	1,6-3,0	10		1100-1300					
овсюг	10-15,6	1,2-3,2	1,4-3,0	17,5		800-1100					

## Приложение 9

### Рекомендованные диаметры ячеек цилиндрического триера

культура	пшеница	рожь	ячмень	овес	рис	рис-сечка
диаметр, мм	5,0	6,0	6,3	8,5	6,0	3,0-3,5

### Приложение 10

#### Толщина листовой стали для цилиндрического триера

Диаметры ячеек, мм	1,6; 1,8; 2,0	2,2; 2,5; 2,8	3,15; 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
Толщина листа, мм	0,9	1,1	1,5-1,6	2,0	2,2	2,5

### Приложение 11

#### Удельная нагрузка триерной поверхности

Очищаемые культуры	Удельная нагрузка	
	поверхности цилиндрических триеров	поверхности дисков в дисковых триерах
пшеница от коротких примесей (куколя и др.)	750-850	800-900
пшеница от длинных примесей (овсюга и др.)	550-650	600-700
овес от коротких примесей (куколя, вики и др.)	650-700	-
гречиха от коротких или длинных примесей	650-750	-
разделение продуктов шелушения овса	500-600	450-550
отбор ломаных зерен из обработанного иса	700-750	-
контроль отходов куко- леотборников	300	-
контроль отходов овсю- гоотборников	200	-

## Рекомендуемая литература

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т.-5-е изд., перераб. и доп./ В.И. Анурьев. - М.: Машиностроение, 1981. Т. 3. 557 с.
2. Бредихин С.А. Технологическое оборудование для мясокомбинатов / С.А. Бредихин. – М.: Колос, 2000.– 476 с. - Предм. указ.: с. 468-474.
3. Бредихин С.А. Технология и техника переработки молока и молочных продуктов/С.А. Бредихин, Ю.В. Космодемьянский, В.Н. Юрин.– М.: Колос, 2003.– 400 с.
4. Бутковский В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства (с основами экологии) / В.А. Бутковский, СМ. Мелников. М.: Агропромиздат, 1989. 464 с.
5. Еренгалиев А.Е. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств/ А.Е. Еренгалиев, С.Л. Масленников, А.К. Какимов, Н.О. Тусипов. – Семей: СГУ имени Шакарима, 2008. – 208 с.
6. Зимняков В.М. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств: учебник / В.М. Зимняков, А.А. Курочкин, И.А. Спицын, В.А. Чугунов. — М. : ИНФРА-М, 2019. — 360 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org/10.12737/17664](http://www.dx.doi.org/10.12737/17664). - ISBN: 978-5-16-010566-6 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1016412>
7. Золотин Ю.П., Френклах М.Б., Лашутина Н.Г. Оборудование предприятий молочной промышленности. – М.: Агропромиздат, 1985.
8. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности/В.И.Ивашов.– М.: Пищевая промышленность, 2001.– 321 с. - Предм. указ.: с. 318-321.
9. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Ч 1. Убой и первичная переработка. М.: Колос, 1994. - 367с.
10. Ивашов, И.В. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности [Текст]: учебник для студентов вузов. - СПб: Гиорд, 2010. - 736 с. [ЭБС Лань].
11. Илюхин В.В. и др. Монтаж, наладка, диагностика, ремонт, сервис оборудования предприятий молочной промышленности. – СПб.: ГИОРД, 2008.
12. Курочкин А.А. Оборудование перерабатывающих производств : учебник / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, В.М. Зимняков [и др.]. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 363 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI 10.12737/11738. - ISBN 978-5-16-010779-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1062370>. – Режим доступа: по подписке.
13. Курочкин А.А. Дипломное проектирование оборудования пищевых производств. – М.: Колос, 2006. - 340с.

14. Лисицин П.А. Современное технологическое оборудование для тепловой обработки молока и молочных продуктов. – СПб.: ГИОРД, 2009.
15. Мороз В.К. Курсовое и дипломное проектирование по курсу «Эксплуатация оборудования предприятий пищевой промышленности» В.К. Мороз. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 200 с.
16. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств под ред. А. Я. Соколова. М.: Пищепромиздат, 1960. 465 с.
17. Остриков А.Н. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств. Учебник для вузов. - СПб.: ГИОРД, 2003. – 352 с.
18. Панфилов В.А. «Машины и аппараты пищевых производств» В 2 кн. Кн. I: Учебн. для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; Под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. — М.: Высшая школа., 2001. — 680 с.
19. Пеелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: Пищевая промышленность 1971. - 519с.
20. Рогов И.А., Забашта А.Р., Казюлин Г.П. Общая технология получения и переработки мяса. - М.: Колос, 1994. -367 с.
21. Соколов В.И. Основы расчета и конструирования деталей и узлов пищевого оборудования В.И. Соколов. М.: Машиностроение, 1970. 424 с.
22. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна /А.Я. Соколов. М.: Колос, 1967. 488 с.
23. Справочник по оборудованию зерноперерабатывающих предприятий. Изд. 2-е, перераб. и доп. / А.Б.Демских, М.А.Борискин, Е.В.Тамаров и др. М.: Колос, 1980. 383 с
24. Справочник технолога молочной промышленности. Т.7. Оборудование молочных предприятий (справочник – каталог). Самойлов В.А. . – СПб.: ГИОРД, 2007.
25. Старшов Г.И. Основы проектирования и расчет технологического оборудования пищевых предприятий: учеб. пособие / Г.И. Старшов, С.Н. Никоноров, А.И. НИКИТИН. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2008. — 187 с.
26. Сурков В.Д. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности / Сурков В.Д., Липатов Н.Н., Золотин Ю.П. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Легкая и пищевая пром-сть. 1983. – 432 с.
27. Тир К.В. Комплексный расчет кулачковых механизмов К.В.Тир. М.-Киев:, Машгиз, 1958. 254 с.
28. Харламов С.В. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств: практикум по курсу С.В. Харламов. Л.: Машиностроение, 1971. 200 с.
29. Чаблин Б.В., Евдокимов И.А. Практикум по механическому оборудованию предприятий общественного питания. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 312 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	3
1. РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА	4
2. РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЯСА	9
3. РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА	15
Приложения	23
Рекомендуемая литература	29

Составитель:

*Пшенов Евгений Александрович*

## **ОСНОВЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ МАШИН И АППАРАТОВ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ**

задания и методические указания по выполнению  
контрольной работы

предназначены для студентов очной формы обучения  
по направлению подготовки:

Агроинженерия

профиль «Машины и оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции»

Печатается в авторской редакции  
Компьютерная вёрстка Е.А. Пшенов

Подписано в печать 28 марта 2023 г.  
Формат 84×108/32. Объем 2 уч.-изд. л  
Тираж 35 экз. Изд. № . Заказ №

Отпечатано в мини-типографии Инженерного института  
630039, г. Новосибирск, ул. Никитина, 147