

**ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ**

**Кафедра механизации животноводства и переработки  
сельскохозяйственной продукции**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МЯСНОЙ И  
МОЛОЧНОЙ ОТРАСЛИ**

**задания и методические указания по  
выполнению контрольной работы**

**Новосибирск 2023**

**Кафедра механизации животноводства и переработки  
сельскохозяйственной продукции**

УДК 637.02

ББК 36.95

**Технологическое оборудование мясной и молочной отрасли:** задания и методические указания по выполнению контрольной работы / Новосиб. гос. аграр. ун-т; Инжен. ин-т; Сост.: Пшенов Е.А. - Новосибирск, 2023 - 48 с.

Рецензент:

канд. тех. наук, доцент Тихонкин И.В.

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

Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции;  
Продукты питания животного происхождения

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

© Новосибирский ГАУ, 2023

## ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа по дисциплине «Технологическое оборудование мясной и молочной отрасли» 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, хладоносителя, электричества в единицу времени;

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

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.

Приложения содержат все необходимые данные для выполнения контрольной работы.

Работа предназначена для студентов дневной и заочной формы обучения.

Необходимо выполнить по три задачи на выбор, причем одна из тем 1, 3 или 4 обязательная.

Студентам очного отделения номер варианта выдает преподаватель. Студенты заочники задание на контрольную работу выбирают сами по двум последним цифрам шифра.

## 1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРУБЧАТОГО ТЕПЛОБМЕННОГО АППАРАТА

### 1.1. Тепловой расчет аппарата

Целью теплового расчета теплообменных аппаратов является определение частных коэффициентов теплоотдачи, теплопередачи и поверхности теплообмена. Данные для проектирования аппарата приведены в табл. 1.1. Продукт молоко.

Таблица 1.1. Варианты исходных данных для расчета трубчатого теплообменного аппарата

Последняя цифра шифра	Производительность теплообменного аппарата, $V_{\text{ап}}, \text{м}^3/\text{ч}$	Давление пара $P_{\text{нас}} \cdot 10^5 \text{ Па}$	Предпоследняя цифра шифра	Начальная температура продукта, $t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	Конечная температура продукта, $t_{\text{к}}, ^\circ\text{C}$
1	2	1,5	1	5	70
2	3	1,8	2	6	74
3	2,8	2,1	3	7	78
4	3,4	2,3	4	4	82
5	2,5	2,5	5	6	84
6	3,5	2,7	6	5	86
7	2,6	2,9	7	7	60
8	3,2	2,8	8	4	65
9	2,2	1,7	9	6	68
0	2,4	1,2	0	8	74

Таблица 1.2. Исходные данные для расчета трубчатого теплообменного аппарата

Показатель	Единица измерения	Условное обозначение	Значение
Производительность теплообменного аппарата	$\text{м}^3/\text{ч}$	$V_{\text{ап}}$	
Начальная температура продукта	$^\circ\text{C}$	$t_{\text{н}}$	
Конечная температура продукта	$^\circ\text{C}$	$t_{\text{к}}$	
Давление пара	Па	$P_{\text{нас}}$	

Определение физических свойств продукта и пара

Для определения физических свойств продукта необходимо установить его среднюю температуру:

$$t_{cp} = (t_n + t_k)/2, \quad (1.1)$$

где  $t_n$  – начальная температура продукта, °С;

$t_k$  – конечная температура продукта, °С.

По известной средней температуре продукта из приложения определяют его физические свойства (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Физические свойства продукта

Параметр	Единица измерения	Условное обозначение	Значение параметра
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{np}$	
Удельная теплоемкость	кДж/(кг·К)	$c_{np}$	
Теплопроводность	Вт/(м·К)	$\lambda_{np}$	
Динамическая вязкость	Па·с	$\mu_{np}$	
Кинематическая вязкость	м <sup>2</sup> /с	$\nu_{np}$	
Критерии Прандтля	-	$Pr_{np}$	

По давлению пара определяют физические свойства сухого насыщенного пара (табл. 1.5).

Таблица 1.5. Физические свойства сухого насыщенного пара

Параметр	Единица измерения	Условное обозначение	Значение параметра
Давление пара	МПа	$P_{нас}$	
Температура пара	°С	$t_{нас}$	
Удельный объем	м <sup>3</sup> /кг	$\nu_{нас}$	
Энтальпия	кДж/кг	$i_{нас}$	
Теплота парообразования	кДж/кг	$r_{нас}$	

Построение графика теплообмена и определение средней разности температур между паром и продуктом.

По известной температуре пара, начальной и конечной температуре продукта строится график теплообмена (рис. 1.1).

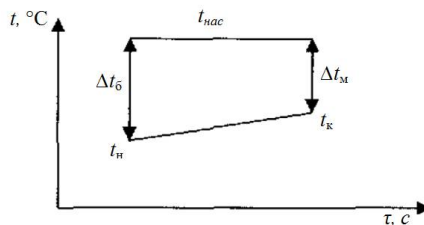


Рис. 1.1. График теплообмена между паром и продуктом

$$\Delta t_b = t_{нас} - t_n, \quad (1.2)$$

где  $\Delta t_b$  – большая разность температур, °С;

$t_{нас}$  – температура пара, °C;

$t_n$  – начальная температура продукта, °C,

$$\Delta t_m = t_{нас} - t_k, \quad (1.3)$$

где  $\Delta t_m$  – меньшая разность температур, °C;

$t_{нас}$  – температура пара, °C;

$t_k$  – конечная температура продукта, °C,

Если отношение  $\Delta t_{\delta} / \Delta t_m > 2$ , то среднюю разность температур рассчитывают по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}}; \quad (1.4)$$

Если отношение  $\Delta t_{\delta} / \Delta t_m \leq 2$ , то с достаточной точностью можно пользоваться среднеарифметическим значением:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_m}{2}; \quad (1.5)$$

### **Определение физических свойств конденсата**

Для определения физических свойств конденсата необходимо определить его температуру:

$$t_{конд} = \frac{t_{нас} + t_{cm}}{2}, \quad (1.6)$$

где  $t_{cm}$  – температура стенки, °C.

$$t_{cm} = 0,5 \cdot (t_{нас} + t_{cp}) \quad (1.7)$$

По известной температуре конденсата из приложения определяют его физические свойства (табл. 1.4).

Таблица 1.4. Физические свойства конденсата

Параметр	Единица измерения	Условное обозначение	Значение параметра
Температура	°C	$t_{конд}$	
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{конд}$	
Удельная теплоемкость	кДж/кг·К	$c_{конд}$	
Теплопроводность	Вт/(м·К)	$\lambda_{конд}$	
Динамическая вязкость	Па·с	$\mu_{конд}$	
Кинематическая вязкость	м <sup>2</sup> /с	$\nu_{конд}$	
Критерий Прандтля	-	$Pr_{конд}$	

### **Определение тепловой нагрузки аппарата**

$$Q = M \cdot c_{пр} \cdot (t_k - t_n), \quad (1.8)$$

где  $Q$  – тепловая нагрузка, кДж/ч;

$M$  – производительность аппарата, кг/ч;

$c_{np}$  – удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг·К) (см. Приложения).  
Перевод тепловой нагрузки в (Вт) по формуле:

$$\underline{Q}^* = \underline{Q} \frac{1000}{3600}, \quad (1.9)$$

$Q^*$  – тепловая нагрузка, Вт.

### Определение режима движения продукта по трубам

Режим течения жидкости характеризуется числом Рейнольдса.

В прямых гладких трубах при  $Re < 2300$  наблюдается ламинарный режим движения, при  $Re > 10\,000$  — устойчивый турбулентный, а при  $2300 < Re < 10\,000$  – переходный.

$$Re = \frac{v_{np} \cdot d_{en}}{\nu_{np}}, \quad (1.10)$$

где  $v_{np}$  – скорость движения продукта, м/с (принимаем  $v_{np} = 0,5 \dots 1$  м/с);

$d_{en}$  – внутренний диаметр трубы, м;

$\nu_{np}$  – кинематическая вязкость продукта, м<sup>2</sup>/с.

Режим движения молока по трубам \_\_\_\_\_ (при выбранной скорости движения продукта \_\_\_\_ м/с).

Внутренний диаметр трубы определяется из уравнения неразрывности струи, (м):

$$d_{en} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{an}}{\pi \cdot v_{np} \cdot 3600}}, \quad (1.11)$$

где  $V_{an}$  – объемная производительность аппарата, м<sup>3</sup>/ч;

$v_{np}$  – скорость движения продукта, м/с.

По рассчитанному внутреннему диаметру труб из приложения подбираются стандартные наружный диаметр и толщину стенки, после чего определяется стандартный внутренний диаметр ( $d_{en}^*$ );

$$d_{en}^* = d_{нар}^* - 2 \cdot a_{ст}, \quad (1.12)$$

где  $d_{нар}^*$  – наружный диаметр по стандарту, м;

$a_{ст}$  – толщина стенки трубы, м.

Далее определяется фактическая скорость движения жидкости по трубам:

$$v_{\phi} = \frac{4 \cdot V_{an}}{\pi \cdot (d_{en}^*)^2 \cdot 3600}, \quad (1.13)$$

Фактическая скорость движения продукта по трубе составляет \_\_\_\_ м/с.

### Определение коэффициента теплопередачи и частных коэффициентов теплоотдачи

Определение коэффициента теплоотдачи от пара к горизонтальной трубе аппарата:

$$\alpha_1 = 0,728 \cdot \varepsilon \sqrt{\frac{\lambda_{\text{конд}}^3 \cdot \rho_{\text{конд}}^2 \cdot r_{\text{нас}} \cdot g \cdot 1000}{\mu_{\text{конд}} \cdot (t_{\text{нас}} - t_{\text{см}}) \cdot d_{\text{нар}}^*}}. \quad (1.14)$$

где  $\lambda_{\text{конд}}$  – теплопроводность конденсата, Вт/(м·К);

$\rho_{\text{конд}}$  – плотность конденсата, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_{\text{конд}}$  – динамическая вязкость конденсата. Па·с;

$r_{\text{нас}}$  – теплота парообразования, кДж/кг.

$\varepsilon$  – поправочный коэффициент:

$$\varepsilon = \sqrt[3]{\left(\frac{\lambda_{\text{к см}}}{\lambda_{\text{к}}}\right)^3 \cdot \frac{\mu_{\text{к}}}{\mu_{\text{к см}}}},$$

здесь  $\lambda_{\text{к см}}$  – теплопроводность конденсата, при температуре стенки, Вт/(м·К);

$\mu_{\text{к см}}$  – динамическая вязкость конденсата, при температуре стенки, Па·с;

Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке труб равен \_\_\_\_\_ Вт/(м<sup>2</sup>·К).

### Определение коэффициента теплоотдачи от стенки к продукту

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{пр}}}{d_{\text{вн}}^*}, \quad (1.15)$$

где  $\lambda_{\text{пр}}$  – теплопроводность продукта, Вт/(м·К);

Nu – критерий Нуссельта.

а) для турбулентного режима ( $Re > 10\,000$ )

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}_{\text{пр}};$$

б) для переходного режима ( $Re = 2300 \dots 10\,000$ )

$$Nu = 0,008 Re^{0,9} Pr^{0,43}_{\text{пр}};$$

в) для ламинарного режима ( $Re < 2300$ )

$$Nu = 0,17 Re^{0,33} Pr^{0,43}_{\text{пр}} Gr^{0,1},$$

здесь Pr – критерий Прандтля;

Gr – критерий Грасгофа

$$Gr = \frac{g \cdot d_{\text{вн}}^3}{\nu_{\text{пр}}^2} \cdot \Delta t \cdot \beta, \quad (1.16)$$

здесь  $\Delta t$  – разность температур стенки и продукта:  $\Delta t = t_{\text{см}} - t_{\text{пр}}$ ;

$\beta$  – коэффициент объемного расширения жидкости.

### Определение коэффициента теплопередачи

$$K = \frac{\varphi}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{a_{\text{см}}}{\lambda_{\text{см}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, Bm / (m^2 \cdot K). \quad (1.17)$$

где  $\lambda_{\text{см}}$  – теплопроводность стенки труб, Вт/(м·К),

для хромоникелевых труб  $\lambda_{\text{см}} = 16 \dots 18$  Вт/(м·К);

$\varphi$  – коэффициент, учитывающий влияние накипи на поверхности трубков при нагревании продукта (принимается значение  $\varphi = 0,5 \dots 0,9$ ).



## Определение площади поверхности теплообмена

Площадь поверхности теплообмена определяется из основного уравнения теплопередачи

$$F = \frac{Q^*}{K \cdot \Delta t_{cp}}. \quad (1.18)$$

### 1.2. Конструкторский расчет аппарата

Целью конструкторского расчета трубчатых теплообменных аппаратов является определение габаритных размеров, числа труб, диаметров патрубков для ввода пара и отвода конденсата.

Последовательность расчета предполагает определение следующих параметров:

Площадь поперечного сечения одного хода по продукту:

$$S_x = \frac{V_{an}}{v_{\phi} \cdot 3600}. \quad (1.19)$$

Число труб в одном ходу:

$$n_{1хода} = \frac{S_x}{S_{1mp}}, \quad (1.20)$$

где  $S_{1mp}$  – площадь поперечного сечения одной трубы,  $m^2$ .

$$S_{1mp} = \frac{\pi \cdot (d_{вн}^*)^2}{4}. \quad (1.21)$$

Длина пути продукта в трубках аппарата:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_{cp} \cdot n_{1хода}}, \quad (1.22)$$

где  $L$  – длина пути продукта, м;

$d_{cp}$  – средний расчетный диаметр труб, м.

$$d_{cp} = \frac{d_{вн}^* + d_{нар}^*}{2} \quad (1.23)$$

Число ходов:

$$Z = \frac{L}{l_{mp} \cdot n_{1хода}}, \quad (1.24)$$

где  $l_{mp}$  – длина одной трубы, м (принимается от 1 до 2 м).

Общее число труб в аппарате:

$$n_{общ} = Z \cdot n_{1хода}, \quad (1.25)$$

$n_{общ}$  округлить до 7; 19; 37; 61; 91; 127; 187; 241; 301; 367; 439; 517; 613; 721  
изменяя  $Z$  подбирая длину одной трубы  $l_{mp}$ .

Диаметр аппарата (без теплоизоляции):

$$D_m = (n - 1) \cdot t + 4 \cdot d_{нар}^*, \quad (1.26)$$

где  $n$  – число труб по диагонали наибольшего многоугольника, выбрать в зависимости от  $n_{общ}$ ;

$n_{\text{общ}}$	7	19	37	61	91	127	187	241	301	367	439	517	613	721
$n$	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29

$t$  – шаг труб (расстояние между центрами труб), м.

$$t = (1, 2 \dots 1, 3) \cdot d_{\text{нар}}^* \quad (1.27)$$

Расход пара рассчитывается по формуле, (кг/ч):

$$G_{\text{нас}} = \frac{Q}{(i_{\text{нас}} - c_{\text{конд}} \cdot t_{\text{конд}}) \cdot \eta}, \quad (1.28)$$

где  $\eta$  – тепловой КПД аппарата (принимается равным 0,9);

$c_{\text{конд}}$  – удельная теплоемкость конденсата, кДж/(кг·К);

$i_{\text{нас}}$  – энтальпия пара, кДж/кг.

Определение диаметра патрубка, подводящего пар:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{нас}}}{\pi \cdot v_{\text{нас}} \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot 3600}}, \quad (1.29)$$

где  $v_{\text{нас}}$  – скорость движения пара, принимается 30 м/с;

$\rho_{\text{нас}}$  – плотность пара, кг/м<sup>3</sup>.

Диаметр патрубка для конденсата:

$$d_{\text{конд}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{нас}}}{\pi \cdot v_{\text{конд}} \cdot \rho_{\text{конд}} \cdot 3600}}, \quad (1.30)$$

где  $v_{\text{конд}}$  – скорость движения конденсата (принимается равной от 1...2 м/с).

Трубы распределяются в трубной решетке по одному из трех способов: по шестиугольнику, квадрату и концентрическим окружностям.

## 2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГОМОГЕНИЗАТОРА

Целью расчета является определение гидродинамических параметров потока жидкости и характеристик гомогенизатора. Данные для расчета приведены в таблице 2.1. Продукт молоко.

Таблица 2.1. Варианты исходных данных для расчета гомогенизатора

Последняя цифра шифра	Диаметр плунжера, $D$ , мм	Ход плунжера, $S$ , мм	Частота вращения коленчатого вала, $n$ , с <sup>-1</sup>	Предпоследняя цифра шифра	Температура продукта, $t_{\text{пр}}$ , °С	Давление гомогенизации $\Delta p$ , МПа
1	30	40	5,65	1	60	19,5
2	28	45	4,33	2	62	19,4
3	26	50	4,81	3	64	20
4	32	55	5,45	4	66	19,6
5	30	60	4,68	5	64	19,9
6	28	50	4,76	6	62	19,4
7	26	54	4,95	7	60	19,7
8	34	40	5,78	8	63	20
9	26	60	4,61	9	61	19,2
0	32	56	5,34	0	64	20

ПРИМЕЧАНИЕ: Количество плунжеров принять  $z = 3$  шт.

Таблица 2.2. Исходные данные для расчета гомогенизатора

Показатель	Единица измерения	Условное обозначение	Значение
Диаметр плунжера	мм	$D$	
Ход плунжера	мм	$S$	
Частота вращения коленчатого вала гомогенизатора	$c^{-1}$	$n$	
Число плунжеров	шт.	$z$	
Давление гомогенизации	МПа	$\Delta p$	
Температура гомогенизации	$^{\circ}C$	$t_{np}$	
Продукт	молоко		

Производительность плунжерного гомогенизатора  $V$ , ( $m^3/c$ ) определяется по формуле:

$$V = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot z \cdot \varphi, \quad (2.1)$$

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

$n$  – частота вращения коленчатого вала,  $c^{-1}$ ;

$z$  – число плунжеров, шт.;

$\varphi$  – объемный КПД насоса ( $\varphi = 0,80 \dots 0,90$ ).

Наибольшая теоретическая скорость продукта  $v_1$ , подвергающегося гомогенизации может быть вычислена по формуле, м/с:

$$v_1 = \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}} \quad (2.2)$$

где  $\Delta p$  – давление гомогенизации, Па;

$\rho$  – плотность продукта,  $kg/m^3$  (см. приложение);

Несмотря на изменение скорости под клапаном и высоты клапанной щели при изменении давления гомогенизации, число  $Re$  для потока жидкости не зависит от давления гомогенизации и при работе с данным продуктом остается постоянным при любых режимах работы [8]:

$$Re = \frac{v_1 \cdot 2 \cdot h}{\nu} = \frac{2 \cdot G}{\pi \cdot d \cdot \nu}, \quad (2.3)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость продукта,  $m^2/c$  (см. приложение).

$G$  – расход молока через клапан,  $m^3/c$ ;

$$G = V/z \quad (2.4)$$

$d$  – внутренний диаметр клапанной щели, м.

Следовательно, число  $Re$  для потока в клапанной щели зависит от производительности машины, размеров клапана и вязкости жидкости. Обычно при работе гомогенизаторов число  $Re = 25000 \dots 35000$ . Из формулы (2.3) найдем внутренний диаметр клапанной щели:

$$d = \frac{2 \cdot G}{\pi \cdot \text{Re} \cdot v}. \quad (2.5)$$

Высота клапанной щели  $h$  при работе гомогенизатора нестабильна, не должна превышать 0,1 мм, зависит от расхода жидкости через клапан, размеров клапана, давления гомогенизации и вязкости жидкости. Ее можно определить по формуле:

$$h = \frac{G}{\pi \cdot d \cdot \mu \cdot v_1}, \quad (2.6)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода при истечении через клапан (при давлении от 3 до 21 МПа,  $\mu = 0,96 \dots 0,8$ );

Проверяем число Рейнольдса для потока гомогенизируемого продукта по формуле (2.3).

Толщина тарелки клапана  $h_{кл}$ , м,

$$h_{кл} = 0,43 d_{кл} \sqrt{\frac{\Delta p}{[\sigma]}}, \quad (2.7)$$

где  $[\sigma] = 240$  МПа – допускаемое напряжение для материала клапана;

$d_{кл}$  – диаметр клапана, м:

$$d_{кл} = \sqrt{1,27 \cdot \left( \Delta F + \frac{V}{v_o \cdot z} \right)}, \quad (2.8)$$

где  $V$  – производительность гомогенизатора, м<sup>3</sup>/с;

$v_o$  – допускаемая скорость жидкости в канале седла, м/с – (для всасывающего клапана 2 м/с, а для нагнетательного 5...8 м/с);

$\Delta F$  – площадь сечения хвостовика, м<sup>2</sup>:

$$\Delta F = \pi \cdot r_k^2, \quad (2.9)$$

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

Принимаем толщину тарелки клапана  $h_{кл} = \underline{\hspace{1cm}}$  мм

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

$$D_c = \frac{\sqrt{V}}{\sqrt[4]{(\Delta p - p_e) / \delta_e}}, \quad (2.10)$$

где  $p_e$  – давление всасывания, МПа ( $p_e = 0,2$  МПа);

$\delta_e$  – отношение плотности перекачиваемой жидкости и воды (для молока  $\delta_e = 1,03$ ).

Мощность  $N$  необходимую для работы гомогенизатора, определяют по формуле для расчета мощности насосов, кВт:

$$N = \frac{\eta_a \cdot V \cdot \Delta p}{1000 \cdot \eta}, \quad (2.11)$$

где  $\eta_a$  – коэффициент запаса мощности ( $\eta = 1,5 \dots 2$ ).

$\eta$  – механический КПД гомогенизатора ( $\eta = 0,75 \dots 0,85$ ).

При гомогенизации часть механической энергии превращается в теплоту, вследствие чего происходит повышение температуры гомогенизируемого продукта,  $\Delta t$  :

$$\Delta t = \frac{\Delta p}{\rho \cdot c}, \quad (2.12)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>.

Пружина гомогенизирующей головки должна быть достаточно жесткой, чтобы обеспечить необходимое давление гомогенизации.

При расчете задаются индексом пружины  $C_n = 4 \dots 5$ .

Рассчитывают поправочный коэффициент:

$$k = \frac{4 \cdot C_n + 1}{4 \cdot C_n - 4}, \quad (2.13)$$

Усилие пружины  $P$ , Н определяют по формуле:

$$P = f \cdot \Delta p, \quad (2.14)$$

где  $f$  – площадь сечения канала перед клапаном, м<sup>2</sup>

$$f = \pi \cdot d^2 / 4$$

На основании рассчитанных значений, определяют диаметр проволоки пружины:

$$d_{np} = \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot P \cdot C_n}{\pi \cdot [\tau]}}, \quad (2.15)$$

где  $[\tau]$  – допускаемое напряжение на кручение, МПа. ( $[\tau] = 300 \dots 600$  МПа).

Принимаем диаметр проволоки пружины  $d_{np} = \text{_____}$  мм.

Средний диаметр витков пружины:

$$D = d_{np} \cdot C_n \quad (2.16)$$

Количество витков пружины гомогенизатора  $n = 4 \dots 6$

Средний диаметр жировых шариков  $d_{cp}$  в диапазоне изменения давления от 2,0 до 20,0 МПа определяется по формуле Н.В. Барановского, мкм:

$$d = \frac{3,8}{\sqrt{\Delta p}}, \quad (2.17)$$

где  $\Delta p$  – давление гомогенизации, МПа;

### 3. МЕТОДИКА РАСЧЁТА 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, (принимаем  $T_1 = 60^\circ\text{C}$ );

$T_2$  – 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.

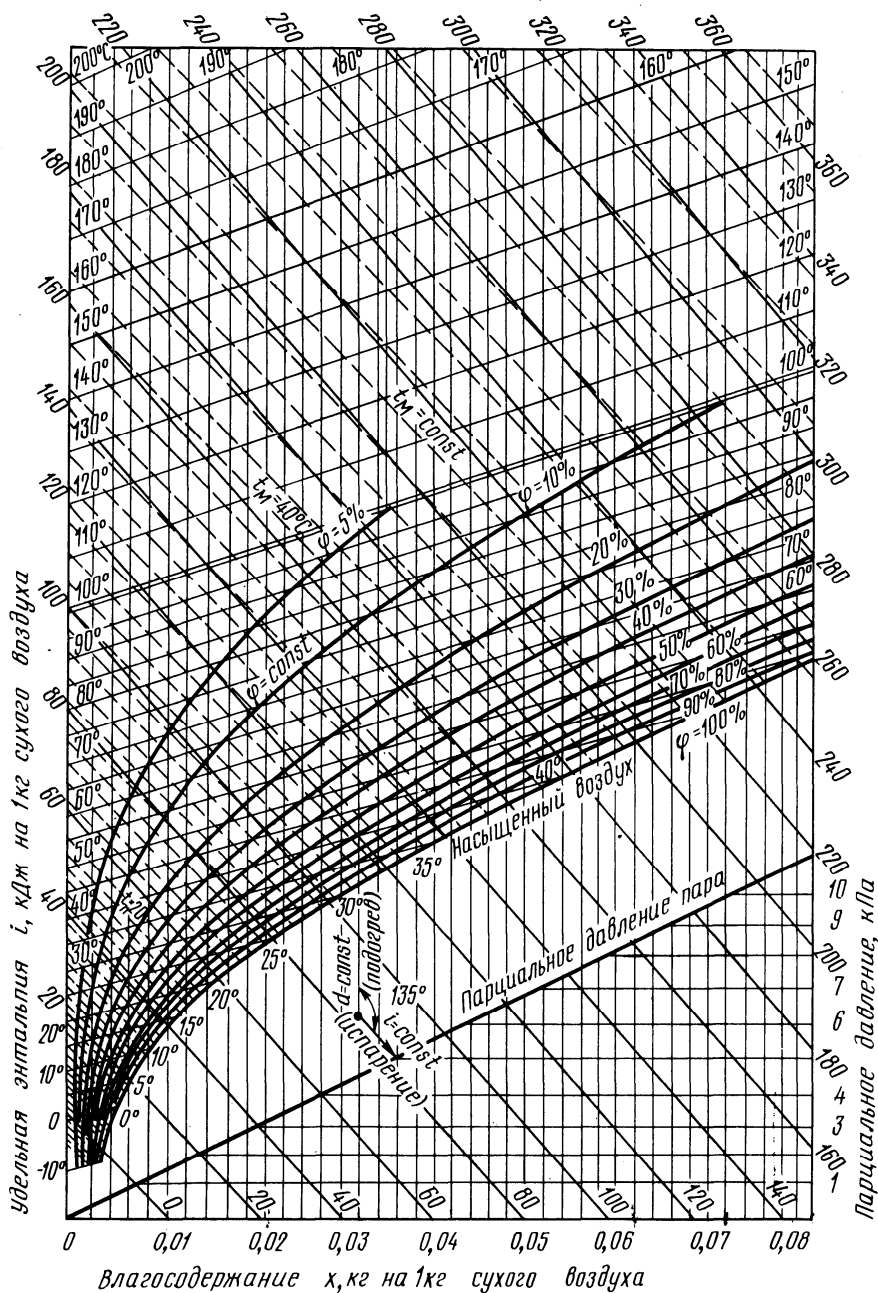


Рис. 3.1. Диаграмма Рамзина  $I$ - $x(d)$  для влажного воздуха



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

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

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

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:

$$\Delta t_{\text{б}} = t_n - t_0.$$

Меньшая разность температур:

$$\Delta t_{\text{м}} = t_n - t_1.$$

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 опытным данным для распылительных дисковых сушилок  $\Delta p_{\text{ск}} = 1000$  Па. Потери напора в калорифере рассчитаны ранее  $h_{\text{к0}}$ . 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>.

## 4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СРЕДНЕГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСА

### РАСЧЕТ ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ

**Задание.** Определить производительность  $Q$  и мощность электродвигателя  $N$  ленточной пилы.

Данные для расчета приведены в табл. 4.1.

**Таблица 4.1 Варианты индивидуальных заданий**

Последняя цифра шифра	Размеры нарезаемой порции $l \times a \times h$ , мм	Число двойных ходов каретки, $n_d$ , мин <sup>-1</sup>	Длина ленты $L$ , м	Ширина пильного полотна, $B$ , мм	Предпоследняя цифра шифра	Диаметр шкива $D$ , м	Толщина отрезаемого ломтика, $\delta$ , мм	Частота вращения шкива $n$ , мин <sup>-1</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	230×220×85	10	1,570	16	0	0,25	15	980
1	245×195×100	11	2,345	20	1	0,21	10	970
2	330×300×110	9	5,486	25	2	0,40	14	920
3	310×230×90	10,5	1,480	20	3	0,25	12	940
4	320×270×95	12	4,260	20	4	0,30	16	1020
5	240×190×115	11,5	1,840	16	5	0,32	18	920
6	250×220×110	12,5	1,820	16	6	0,34	20	940
7	260×240×150	9,5	2,490	15	7	0,36	13	950
8	270×250×130	13	1,600	15	8	0,38	17	1000
9	290×270×120	13,5	1,750	16	9	0,26	19	960

*Примечание. Для четных вариантов: установка шкива – на валу электродвигателя, продукт – охлажденное мясо. Для нечетных: установка шкива – через клиноремennую передачу, продукт – замороженное мясо.*

Из таблицы 4.1 выписываем данные в соответствии с шифром зачетной книжки и заносим в таблицу 4.2.

**Таблица 4.2 Исходные данные для расчета**

Показатель	Единица измерения	Условное обозначение	Значение
Размер нарезаемой порции продукта	м	$l \times a \times h$	
Толщина отрезаемого ломтика	м	$\delta$	
Число двойных ходов каретки	мин <sup>-1</sup>	$n_d$	
Длина ленты	м	$L$	
Диаметр шкива	м	$D$	
Ширина пильного полотна	м	$B$	
Частота вращения шкива	мин <sup>-1</sup>	$n$	
Установка шкива			
Продукт			

### Последовательность расчета

1. Определяем толщину полотна ленточной пилы  $b$ , м:

$$b = 0,001 \cdot D \quad (4.1)$$

где  $D$  – диаметр шкива, м

2. Определяем время нарезания порции продукта  $t_0$ , с:

$$t_0 = \frac{60 \cdot l}{n_d \cdot \delta}, \text{ с} \quad (4.2)$$

где  $l$  – длина нарезаемой порции продукта, м;

$n_d$  – число двойных ходов каретки, мин<sup>-1</sup>;

$\delta$  – толщина отрезаемого ломтика, м.

3. Считая порцию продукта сплошной, определим ее массу при плотности  $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$ :

$$m = l \cdot a \cdot h \cdot \rho \quad (4.3)$$

где  $a$  – ширина нарезаемой порции продукта, м;

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

$$Q = \frac{3600 \cdot m}{T_u} = \frac{3600 \cdot m}{t_3 + t_0}, \quad (4.4)$$

где  $m$  – масса нарезаемой порции продукта, кг;

$T_u$  – продолжительность цикла нарезания порции продукта, с;

$t_3$  – время закрепления продукта, с,  $t_3 = 1 \dots 2,5$  с;

$t_0$  – время нарезания порции продукта, с.

5. Определяем силу натяжения ленты с учетом ее реальной длины  $P_n$ , Н:

$$P_n = P'_n \cdot L, \quad (4.5)$$

где  $P'_n$  – удельная сила натяжения, Н ( $P'_n = 25 \dots 35$  Н/м).

6. Определяем величину уменьшения натяжения от нагревания ленты  $P_t$ , Н:

$$P_t = 2,5 \cdot 10^5 \cdot t \cdot B \cdot b, \quad (4.6)$$

где  $t$  – температура нагрева полотна, °C ( $t = 10 \dots 15$  °C);

$B$  – ширина полотна, м.

7. Определяем общую силу натяжения  $P_n$ , Н:

$$P_n = P_n + P_t. \quad (4.7)$$

8. Натяжение ленты в точке 1 (см. рис 1.1) с наименьшим натяжением равно предварительному натяжению ленты ( $P_1 = P_n$ ), а натяжение в точке 2 –  $P_2 = P_1$ .

$$P_1 = P_2 = P_n \quad (4.8)$$

9. Определяем коэффициент жесткости полотна  $\xi$ :

$$\xi = \frac{b}{D}, \quad (4.9)$$

где  $b$  – толщина полотна, м.

$D$  – диаметр шкива, м

10. Определяем натяжение ленты в точке 3:

$$P_3 = \frac{P_2 \cdot \left[ 1 + \left( C_n \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \xi \right) \right]}{\left[ 1 - \left( C_n \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \xi \right) \right]}, \quad (4.10)$$

где  $C_n$  – приведенный коэффициент сопротивления в подшипниках шкива;

для подшипников скольжения  $C_n = 0,015 \dots 0,025$ ,

для подшипников качения  $C_n = 0,002 \dots 0,008$ .

$\alpha$  – угол обхвата лентой ведущего шкива, град;

$\xi$  – коэффициент жесткости полотна.

11. Определяем силу резания  $P_p$ , Н:

$$P_p = q \cdot b \cdot h, \quad (4.11)$$

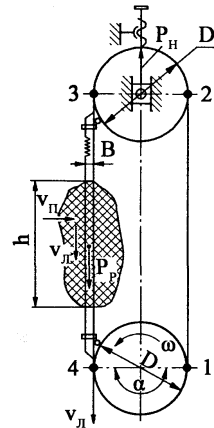


Рис. 1.1. Расчетная  
схема  
ленточной пилы

где  $q$  – удельная сила резания Н/м<sup>2</sup>;

для охлажденного и размороженного мяса  $q = 50 \dots 80$  МН/м<sup>2</sup>;

для замороженного мяса  $100 \dots 200$  МН/м<sup>2</sup>;

12. Определяем наибольшее натяжение ленты  $P_4$ , Н:

$$P_4 = P_3 + P_p. \quad (4.12)$$

13. Определяем окружное усилие  $P_0$ , Н:

$$P_0 = P_4 - P_l. \quad (4.13)$$

14. Проводим проверку тянущей способности по формуле Л. Эйлера:

$$P_0 = P_n \cdot (e^{\mu \cdot \alpha} - 1), \quad (4.14)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения ленты на шкиве ( $\mu = 0,2 \dots 0,3$ );

$\alpha$  – угол обхвата лентой ведущего шкива, рад.

15. Определяем окружную скорость шкива  $v_0$ , м/с:

$$v_0 = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{60}, \quad (4.15)$$

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

$D$  – диаметр шкива, м

16. Определяем мощность ленточной пилы  $N$ , кВт:

$$N = \frac{P_0 \cdot v_0 \cdot \eta_a}{1000 \cdot \eta}, \quad (4.16)$$

где  $P_0$  – окружное усилие на ведущем шкиве, Н;

$v_0$  – окружная скорость на ведущем шкиве, м/с;

$\eta_a$  – коэффициент запаса,  $\eta_a = 1,2 \dots 1,5$ ;

$\eta$  – КПД привода ( $\eta = 0,9$ ).

## 5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕЛКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСА

### РАСЧЕТ МЯСОРУБКИ

**Задание.** Определить параметры шнека; производительность мясорубки  $Q$ ; мощность электродвигателя  $N$ . Данные для расчета приведены в табл. 5.1.

**Таблица 5.1** 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.		
1	2	3	4	5	6	7	8
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



1	2	3	4	5	6	7	8
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 5.1 выписываем данные в соответствии с шифром зачетной книжки и заносим в таблицу 5.2.

**Таблица 5.2 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. 5.1).

Определяем наружный диаметр шнека  $d_H$ , м:

$$d_H = (0,8...0,9) \cdot D \quad (5.1)$$

где  $D$  – диаметр ножевой решетки, м.

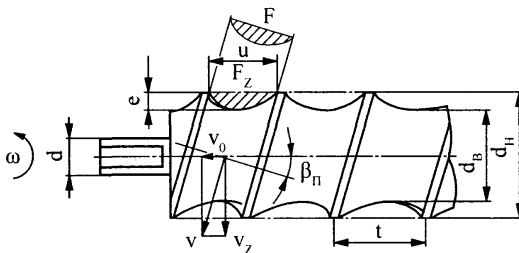


Рис. 2.1. Параметры шнека мясорубки

Внутренний диаметр шнека  $d_B$ , м:

$$d_B = (0,4...0,5) \cdot d_H \quad (5.2)$$

Диаметр хвостовика шнека  $d$ , м:

$$d = (0,2...0,3) \cdot d_H \quad (5.3)$$

Длина шнека  $L$ , м:

$$L = (2,5...3,8) \cdot d_H \quad (5.4)$$

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

$$t_{min} = (0,7...0,8) \cdot d_H \quad (5.5)$$

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

$$\beta = \arctg \left[ \frac{t}{(\pi \cdot d_H)} \right], \quad (5.6)$$

где  $t$  – шаг шнека, м.

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

Определяем шаг последнего витка шнека  $t_n$ ;

$$t_n = \operatorname{tg} \beta_n \cdot (\pi \cdot d_H) \quad (5.7)$$

Определяем количество витков шнека  $m$ , шт:

$$m = L / t_{min} \quad (5.8)$$

Учитывая переменность шага, округляем кратно 0,5.

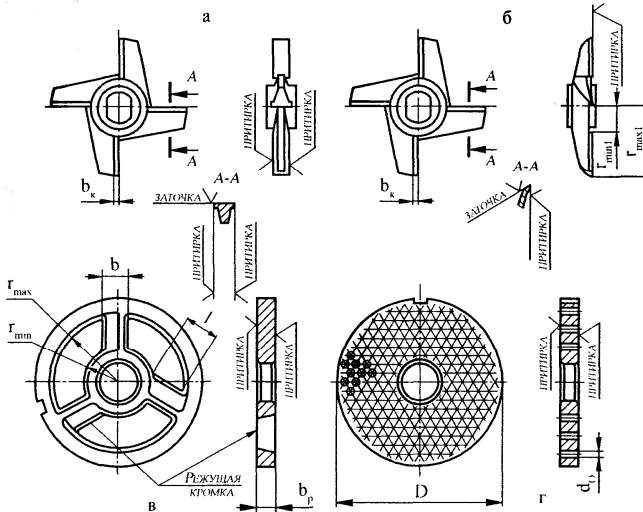


Рис. 5.2. Режущие инструменты мясорубки:  
а - двусторонний нож; б - односторонний нож;  
в - подрезная ножесвая решетка; г - ножесвая решетка.

2. Определяем суммарную площадь отверстий в решетках.

Площадь отверстий в подрезной решетке.

$$F_{ol} = [\pi \cdot (r_{max}^2 - r_{min}^2) - 3 \cdot b \cdot l], \quad (5.9)$$

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 перемычки подрезной решетки, м:

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

$l$  – длина лезвия подрезной решетки, м:

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

Суммарная площадь отверстий в первой ножевой решетке:

$$F_0^1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot z_1, \quad (5.10)$$

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

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

Суммарная площадь отверстий в первой ножевой решетке:

$$F_0^2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot z_2, \quad (5.11)$$

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:

$$v_0 = \frac{\pi \cdot n}{60} (r_H + r_B) \cdot \operatorname{tg} \beta_n \cdot k_B, \quad (5.12)$$

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;

$k_B$  – коэффициент объемной подачи продукта,  $k_B = 0,35...0,40$ .

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

$$Q = 3600 \cdot F_{ol} \cdot v_0 \cdot \rho \cdot \varphi, \quad (5.13)$$

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

$v_0$  – 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  $\varphi = 0,7...0,8$ .

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

$$F_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (5.14)$$

6. Определяем коэффициент использования площади решетки: подрезной ножевой решетки

$$K_{n.p} = \frac{F_{ol}}{F_p}; \quad (5.15)$$

первой ножевой решетки

$$K_{p1} = \frac{F_o^1}{F_p}; \quad (5.16)$$

второй ножевой решетки

$$K_{p2} = \frac{F_o^2}{F_p}. \quad (5.17)$$

7. Проверяем производительность шнекового устройства  $Q_{ш}$ , м<sup>3</sup>/с мясорубки по формуле:

$$Q_{ш} = F \cdot \varphi_k \cdot v \quad (5.19)$$

где  $F$  – площадь нормального сечения винтовой канавки шнека, м<sup>2</sup>;

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

$v$  – 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:

$$F = \frac{2}{3} u \cdot e, \quad (5.20)$$

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

$$u = (t_{min} + t_n) \cdot 0,5 - s, \quad (5.21)$$

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

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

$$e = 0,5 \cdot (d_H - d_B). \quad (5.22)$$

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

$$v = \frac{v_z}{\cos \beta_n}, \quad (5.23)$$

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:

$$v_z = \pi \cdot d_{cp} \cdot n \cdot k_{ск} \quad (5.24)$$

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

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (d_H + d_B). \quad (5.25)$$

$n$  – 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:

$$N = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) / \eta \quad (5.26)$$

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:

$$N_1 = F_p \cdot (K_{n.p.} + 2K_{p1} + K_{p2}) \cdot \frac{n}{60} \cdot a \cdot z, \quad (5.27)$$

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

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

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

$$N_2 = \frac{\pi \cdot n}{60} \cdot P_3 \cdot (r_{\max 1} + r_{\min 1}) \cdot f_1 \cdot z, \quad (5.28)$$

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

$r_{\max 1}$ ,  $r_{\min 1}$  – наружный и внутренний радиусы ножа (рис.5.2), м:

$$r_{\max 1} = r_{\max} + 0,001$$

$$r_{\min 1} = r_{\min} - 0,0015$$

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

Усилие затяжки режущего механизма определяется по формуле:

$$P_3 = P_y \cdot b_k \cdot z \cdot (r_{\max 1} - r_{\min 1}), \quad (5.29)$$

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.5.2), м,  $b_k \approx 0,002$  м.

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

$$N_3 = \frac{\pi^2 n}{45} \cdot P_y \cdot f \cdot m \cdot k_B \cdot (r_H^3 - r_B^3), \quad (5.30)$$

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:

$$N_4 = \pi \cdot (r_n^2 - r_B^2) \cdot P_1 \cdot v_0, \quad (5.31)$$

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

$$P_I = P_I^n + P_I^{ln} + P_I^{2n} \quad (5.32)$$

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

$$\text{для подрезной решетки } (d_o \approx l) \quad P_1^n = \frac{4 \cdot \tau}{l}; \quad (5.33)$$

$$\text{для первой ножевой решетки} \quad P_1^{ln} = \frac{4 \cdot \tau}{d_1}; \quad (5.34)$$

$$\text{для второй ножевой решетки} \quad P_1^{2n} = \frac{4 \cdot \tau}{d_2}. \quad (5.35)$$

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

13. Определяем технологическую мощность мясорубки по формуле (5.26)

## 6.ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСА

### РАСЧЕТ КУТТЕРА

**Задание.** Определить время измельчения мясного сырья  $t_w$ ; производительность куттера  $Q$ ; мощность привода  $N$ .

Данные для расчета приведены в табл. 6.1.

**Таблица 6.1 Варианты индивидуальных заданий**

Последняя цифра шифра	Масса единовременной загрузки сырья, $G$ , кг	Число ножей в механизме, $z$ , шт.	Предпоследняя цифра шифра	Частота вращения рабочего органа $n$ , мин <sup>-1</sup>
<b>0</b>	22	2	<b>0</b>	1400
<b>1</b>	24	4	<b>1</b>	1450
<b>2</b>	33	2	<b>2</b>	1500
<b>3</b>	35	4	<b>3</b>	1550
<b>4</b>	44	6	<b>4</b>	1600
<b>5</b>	49	8	<b>5</b>	1650
<b>6</b>	55	4	<b>6</b>	1630
<b>7</b>	68	6	<b>7</b>	1530
<b>8</b>	82	8	<b>8</b>	1480
<b>9</b>	110	10	<b>9</b>	1570

Примечание. Для четных вариантов измельчение с добавлением воды, для не четных без добавления воды.

Из таблицы 6.1 выписываем данные в соответствии с шифром зачетной книжки и заносим в таблицу 6.2.

**Таблица 6.2 Исходные данные для расчета**

Показатель	Единица измерения	Условное обозначение	Значение
Масса единовременной загрузки сырья	кг	$G$	
Число ножей в механизме	шт.	$Z$	
Частота вращения ножевого вала	мин <sup>-1</sup>	$n$	

### Последовательность расчета

1. Определяем геометрический объем рабочей емкости чаши  $V$ , м<sup>3</sup>:

$$V = \frac{G}{\rho \cdot \varphi}, \quad (6.1)$$

где  $G$  – масса единовременной загрузки сырья, кг;

$\rho$  – плотность сырья, кг/м<sup>3</sup> (для фарша  $\rho = 900 \dots 1100$  кг/м<sup>3</sup>);

$\varphi$  – коэффициент заполнения объема чаши;

для куттеров с гладкой откидной крышкой, на которой не установлены подшипники ножевого вала,  $\varphi = 0,6$ ,

для куттеров, в которых подшипники ножевого вала установлены на крышке чаши с выступом внутрь чаши,  $\varphi = 0,55$ .

Вычисленное значение объема округляем до серийно выпускаемых (л): 40, 45, 60, 65, 80, 90, 100, 125, 150, 200, 250, 325, 500.

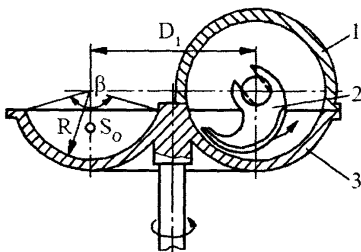


Рис. 3.1. Режущий механизм куттера:

1 - крышка; 2 - серповидный нож; 3 - чаша

2. Определяем расчетный радиус чаши  $R$ , м. Анализ серийно выпускаемых куттеров показал, что радиус связан с объемом чаши  $V$  следующей зависимостью:

$$R = \sqrt[3]{\frac{V}{\pi^2 \cdot 0,85}}, \quad (6.2)$$

где  $V$  – геометрический объем рабочей емкости чаши, м<sup>3</sup>.

3. Определяем площадь сегмента  $S_0$ , которым образована внутренняя часть чаши куттера, при этом по конструктивным соображениям радиус

вращения центра тяжести площади  $S_0$  вокруг вертикальной оси вращения принимается  $R_I = (1,15 \dots 1,20) \cdot R$ , м:

$$S_0 = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot R_I}, \quad (6.3)$$

где  $R_I$  – радиус вращения центра тяжести площади  $S_0$  вокруг вертикальной оси вращения, м.

4. Вычисляем площадь сечения слоя фарша  $S_1$ , м<sup>2</sup> подаваемого под ножи:

$$S_1 = \frac{V_3}{2 \cdot \pi \cdot R_I} = \varphi \cdot S_0 \approx \frac{G}{2 \cdot \pi \cdot R_I \cdot \rho}, \quad (6.4)$$

где  $V_3$  – объем загрузки, м<sup>3</sup>.

5. Рассчитываем минимально необходимое время измельчения порции продукта:

$$t_u = \frac{60 \cdot G \cdot F_1}{\varphi_0 \cdot F_0} = \frac{60 \cdot G \cdot F_1}{\varphi_0 \cdot S_1 \cdot z \cdot n}, \quad (6.5)$$

где  $F_1$  – площадь раздела при измельчении 1 кг продукта, м<sup>2</sup>/кг,

( $F_1 = 1,05 \dots 1,1$  м<sup>2</sup>/кг)

$\varphi_0$  – коэффициент использования режущей способности механизма измельчителя,  $\varphi_0 = (0,7 \dots 0,8)$ ;

$F_0$  – режущая способность механизма, м<sup>2</sup>/мин;

$S_1$  – площадь разреза слоя фарша одним ножом за один оборот, м<sup>2</sup>;

$z$  – число ножей в режущем механизме, шт;

$n$  – частота вращения ножевого вала, мин<sup>-1</sup>.

Полученное значение сравниваем с рекомендованным  $t_u = 180 \dots 240$  с.

6. Находим продолжительность цикла обработки порции продукта.

$$T_u = t_u \cdot (1 + \alpha_0), \quad (6.6)$$

где  $\alpha_0$  – доля производительности подсобных операций от продолжительности операции измельчения ( $0,5 \dots 0,6$ ).

7. Определяем производительность куттера периодического действия:

$$Q = \frac{3600 \cdot G}{T_u}. \quad (6.7)$$

8. Определяем мощность, необходимую для измельчения сырья:

$$N_1 = \frac{a \cdot S_1 \cdot z \cdot n \cdot \eta_a}{60 \cdot \eta \cdot \eta_u}, \quad (6.8)$$

где  $a$  – удельный расход энергии на перерезание слоя фарша одним ножом за один оборот, Дж/м<sup>2</sup> (при измельчении мясного сырья при окружной скорости ножей до 30 м/с без добавления в фарш воды  $a = 2700 \dots 3100$  Дж/м<sup>2</sup>, с добавлением в фарш воды –  $a = 2000 \dots 2400$  Дж/м<sup>2</sup>);

$\eta_a$  – коэффициент запаса мощности, ( $\eta_a = 1,3 \dots 1,5$ );

$\eta$  – КПД передач от двигателя к ножевому валу ( $\eta = 0,8 \dots 0,9$ ).

$\eta_u$  – коэффициент, учитывающий потери энергии на вращение чаши в куттерах ( $\eta_u = 0,9$ ).



## 7. МАШИНЫ ДЛЯ РЕЗАНИЯ ПРОДУКЦИИ ЗАДАННОЙ ФОРМЫ

### РАСЧЕТ ШПИГОРЕЗКИ

**Задание.** Определить время измельчения  $t_u$ ; размеры проходного сечения  $b$  и  $c$ ; мощность электродвигателя  $N$ . Данные для расчета приведены в табл. 7.1.

**Таблица 7.1 Варианты индивидуальных заданий**

Последняя цифра шифра	Производительность $Q$ , кг/ч	Размеры нарезаемого кубика, $a \times a \times a$ , мм	Предпоследняя цифра шифра	Длина загрузочного бункера $L$ , м	Частота вращения рабочего органа $n$ , мин <sup>-1</sup>
0	500	8×8×8	0	0,4	200
1	600	6×6×6	1	0,45	180
2	700	12×12×12	2	0,5	210
3	800	24×24×24	3	0,55	190
4	400	16×16×16	4	0,6	220
5	750	4×4×4	5	0,65	230
6	650	12×12×12	6	0,7	240
7	550	16×16×16	7	0,57	250
8	480	6×6×6	8	0,47	170
9	630	8×8×8	9	0,67	260

Из таблицы 7.1 выписываем данные в соответствии с шифром зачетной книжки и заносим в таблицу 7.2.

**Таблица 7.2 Исходные данные для расчета**

Показатель	Единица измерения	Условное обозначение	Значение
Производительность	кг/ч	$Q$	
Размеры нарезаемого кубика	мм	$a \times a \times a$	
Длина загрузочного бункера	м	$L$	
Частота вращения рабочего органа	мин <sup>-1</sup>	$n$	

### Последовательность расчета

1. Определяем время измельчения порции шпика  $t_u$ , с:

$$t_u = \frac{60 \cdot L}{x \cdot z \cdot n}, \quad (7.1)$$

где  $L$  – длина загрузочного короба, м;

$x$  – подача продукта за время одного оборота отсекающего ножа, м;

$z$  – число вращающихся ножей, шт.;

$n$  – частота вращения отсекающего ножа, мин<sup>-1</sup>.

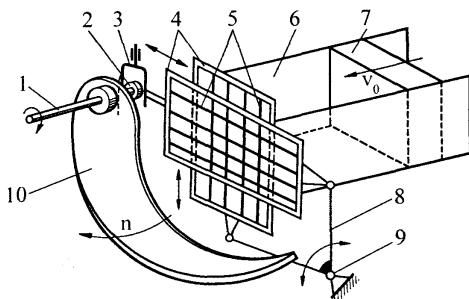


Рис. 7.1. Принципиальная схема режущего узла шпигорезки:

1 - приводной вал; 2 - эксцентрик; 3 - вилка; 4 - ножевые рамки; 5 - пластинчатые ножи; 6 - короб питателя; 7 - толкатель; 8 - угловой рычаг; 9 - шарнир; 10- серповидный нож.

За время одного оборота отсекающего ножа толкатель питателя должен продвинуть шпик через блок ножевых рамок на расстояние, равное длине стороны кубика  $x = a$ .

2. Определим скорость подачи  $v_o$ , м/с:

$$v_o = x \cdot n, \quad (7.2)$$

где  $x$  – подача продукта за время одного оборота отсекающего ножа, м;  
 $n$  – частота вращения отсекающего ножа,  $c^{-1}$ .

3. Считая проходное сечение квадратным,  $b = c$ , при постоянной частоте вращения отсекающего ножа определяем размеры проходного сечения.

$$b = \sqrt{\frac{Q}{3600 \cdot v_o \cdot \rho \cdot \gamma}}, \quad (7.3)$$

где  $Q$  – производительность, кг/ч.

$b$  – сторона проходного сечения горловины питателя, м;

$v_o$  – скорость подачи продукта, м/с.

$\rho$  – плотность сырья,  $кг/м^3$ , (для шпика  $\rho = 920 \dots 960 \text{ кг/м}^3$ );

$\gamma$  – коэффициент заполнения загрузочного короба,  $\gamma = 0,7 \dots 0,8$

Округляем до серийно выпускаемых  $b = c = 0,10; 0,11; 0,12; 0,14; 0,15$  м.

4. Определяем производительность машины при заданных параметрах:

$$Q = \frac{3600 \cdot V \cdot \rho \cdot \gamma}{t_s + t_u} \quad (7.4)$$

где  $V$  – объем загрузочного короба,  $м^3$ ;

$$V = b^2 \cdot L; \quad (7.5)$$

$t_s$  – время, затрачиваемое на укладку кусков шпика в загрузочный короб и поворот короба в рабочее положение, с, ( $t_s = 15 \dots 20$ с)

$t_u$  – время измельчения порции шпика, с.

5. Определяем количество пластинчатых ножей в ножевой рамке:

$$z_n = \frac{b}{a} - 1 \quad (7.6)$$

6. Определяем площадь проходного сечения горловины питателя:

$$F_o = b \cdot c \quad (7.7)$$

7. Определяем суммарную площадь плоских ножей, перекрывающих проходное сечение горловины питателя, при толщине ножа  $\delta = 0,5 \cdot 10^{-3}$  м и числе рамок  $z_p = 2$  определяем по формуле:

$$F_c = b \cdot \delta \cdot z_n \cdot z_p. \quad (7.8)$$

8. Определяем коэффициент эффективного использования:

$$\varphi = \frac{F_{жс}}{F_o} = \frac{(F_o - F_c)}{F_o}, \quad (7.9)$$

где  $F_{жс}$  – «живое сечение» блока ножевых рамок, м<sup>2</sup>;

$F_o$  – площадь проходного сечения горловины питателя, м<sup>2</sup>;

$F_c$  – суммарная площадь элементов ножевых рамок, перекрывающих проходное сечение горловины питателя, м<sup>2</sup>.

9. Определяем режущую способность механизма  $F$ , м<sup>2</sup>/мин:

$$F = 2 \cdot v_0 \cdot z_n \cdot b + b^2 \cdot z \cdot n \quad (7.10)$$

где  $v_0$  – скорость подачи шпика по коробу в м/мин;

$z_n$  – число пластинчатых ножей в рамке;

$b$  – размер квадратного сечения короба, м;

$z$  – число серповидных ножей;

$n$  – число оборотов вала серповидных ножей, мин<sup>-1</sup>.

10. Определяем мощность, затрачиваемая на перерезание шпика серповидным ножом,  $N_1$ , Вт;

$$N_1 = \frac{a \cdot \varphi \cdot F \cdot \eta_a}{60 \cdot \eta}, \quad (7.11)$$

где  $a$  – удельный расход энергии на перерезывание шпика, Дж/м<sup>2</sup>,  $a = (90 \dots 100) \cdot 10^3$  Дж/м<sup>2</sup>;

$\varphi$  – коэффициент эффективного использования проходного сечения блока ножевых рамок;

$F$  – режущая способность механизма, м<sup>2</sup>/мин.

$\eta_a$  – коэффициент запаса мощности, ( $\eta_a = 1,3 \dots 1,5$ );

$\eta$  – КПД передач от двигателя к ножевому валу ( $\eta = 0,8 \dots 0,9$ ).

11. Определяем суммарную длину лезвий ножей ножевых рамок:

$$l_c = b \cdot z_n \cdot z_p \quad (7.12)$$

12. Определяем усилие резания

$$P_p = F_p \cdot \sigma_p + l_c \cdot a_{max} \cdot \tau_p, \quad (7.13)$$

где  $F_p$  – площадь поверхности резания, м<sup>2</sup>, ( $F_p = F_c$ );

$\sigma_p$  – нормальное напряжение, возникающее в продукте под действием давления, создаваемого питателем, Н/м<sup>2</sup>,  $\sigma_p = (4...6) \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>;

$\tau_p$  – касательное напряжение, действующее на поверхности разреза продукта, Н/м<sup>2</sup>,  $\tau_p = (8...10) \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>;

$l_c$  – суммарная длина лезвий плоских ножей ножевых рамок, м;

$a_{max}$  – наибольшая величина подачи шпика за один оборот ножа, м.

13. Определяем мощность, необходимую для продвижения шпика:

$$N_2 = P_p \cdot v_0, \quad (7.14)$$

где  $P_p$  – усилие резания плоскими ножами, Н.

14. Технологическая мощность шпигорезки

$$N = N_1 + N_2, \quad (7.15)$$

где  $N_1$  – мощность, затрачиваемая на перерезание шпика серповидным ножом, Вт;

$N_2$  – мощность, затрачиваемая на продвижение шпика питателем через блок ножевых рамок, Вт.

## 8. ДОЗИРОВОЧНО-ФОРМОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

### РАСЧЕТ ПЕЛЬМЕННОГО АВТОМАТА

**Задание.** Определить кинематические параметрыпельменного автомата и мощность привода  $N$ . Данные для расчета приведены в табл. 8.1.

**Таблица 8.1** Варианты индивидуальных заданий

Последняя цифра шифра	Производительность машины $M$ , кг/ч	Количество штамповочных гнезд, $z$ , шт.	Предпоследняя цифра шифра	Диаметр штампуемого барабана, $D_\phi$ , м
<b>0</b>	60	36	<b>0</b>	0,225
<b>1</b>	55	34	<b>1</b>	0,230
<b>2</b>	50	32	<b>2</b>	0,215
<b>3</b>	65	38	<b>3</b>	0,175
<b>4</b>	70	40	<b>4</b>	0,180
<b>5</b>	75	42	<b>5</b>	0,220
<b>6</b>	80	44	<b>6</b>	0,190
<b>7</b>	85	46	<b>7</b>	0,195
<b>8</b>	90	48	<b>8</b>	0,200
<b>9</b>	95	50	<b>9</b>	0,210

Из таблицы 8.1 выписываем данные в соответствии с шифром зачетной книжки и заносим в таблицу 8.2.

**Таблица 8.2 Исходные данные для расчета**

Показатель	Единица измерения	Условное обозначение	Значение
Производительность машины	кг/ч	М	
Количество штамповочных гнезд на окружности штампуемого барабана	шт.	z	
Диаметр штампуемого барабана	м	$D_{\phi}$	

**Последовательность расчета**

1. Определяем частоту вращения штампуемого барабана  $n$ ,  $\text{с}^{-1}$ :

$$n = \frac{M}{z \cdot q \cdot 3600}, \quad (8.1)$$

где  $M$  – производительность машины, кг/ч;

$q$  – масса одного пельменя, кг,  $q = 0,01 \dots 0,015$  кг.

$z$  – количество штамповочных гнезд на окружности штампуемого барабана, шт.

2. Определяем окружную скорость штампуемого барабана  $v_0$ , м/с:

$$v_0 = \pi \cdot D_{\phi} \cdot n, \quad (8.2)$$

где  $D_{\phi}$  – диаметр штампуемого барабана, м,

3. Определяем штучную производительность пельменного автомата  $M_{ш}$ , шт./ч:

$$M_{ш} = \frac{z \cdot v_0 \cdot 3600}{L}, \text{ шт./ч} \quad (8.3)$$

где  $z$  – количество штамповочных гнезд на окружности штампуемого барабана, шт.;

$v_0$  – окружная скорость штампуемого барабана, м/с;

$L$  – длина окружности штампуемого барабана, м:

$$L = \pi \cdot D_{\phi} \quad (8.4)$$

4. Скорость движения конвейерной ленты  $v_{л}$  равна окружной скорости штампуемого барабана:

$$v_{л} = v_0 \quad (8.5)$$

5. Определяем частоту вращения приводного ролика  $n_p$ ,  $\text{мин}^{-1}$ :

$$n_p = \frac{60 \cdot v_{л}}{\pi \cdot D_p}, \quad (8.6)$$

где  $D_p$  – диаметр приводного ролика конвейера, м;  $D_p = 0,9 \dots 0,12$  м.

6. Общая производительность пельменного автомата

$$M = M_{\phi} + M_m \quad (8.7)$$

где  $M_{\phi}$  – производительность по фаршу, кг/ч;

$M_m$  – производительность по тесту, кг/ч.

В среднем

$$M_{\phi} = 0,4 \cdot M \quad (8.8)$$

Тогда

$$M_m = 0,6 \cdot M \quad (8.9)$$

где  $M$  – производительность машины, кг/ч.

7. Определяем мощность привода питателя для теста  $N_1$ , Вт:

$$N_1 = \frac{p_m \cdot M_m}{3600 \cdot \rho_m \cdot \eta}, \quad (8.10)$$

где  $p_m$  – давление нагнетания теста, Н/м<sup>2</sup>,  $p_m = (98 \dots 110) \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>;

$M_m$  – производительность питателя для теста, кг/с;

$\rho_m$  – плотность теста, кг/м<sup>3</sup> (для пельменного теста  $\rho_m = 900 \dots 940$  кг/м<sup>3</sup>).

$\eta$  – КПД механического привода,  $\eta = 0,85$ .

8. Определяем мощность привода питателя для фарша  $N_2$ , Вт:

$$N_2 = \frac{p_{\phi} \cdot M_{\phi}}{3600 \cdot \rho_{\phi} \cdot \eta}, \quad (8.11)$$

где  $p_{\phi}$  – давление нагнетания фарша, Н/м<sup>2</sup>,  $p_{\phi} = (80 \dots 90) \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>;

$M_{\phi}$  – производительность питателя для фарша, кг/с;

$\rho_{\phi}$  – плотность фарша, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{\phi} = 1000 \dots 1100$  кг/м<sup>3</sup>).

$\eta$  – КПД механического привода,  $\eta = 0,8$ .

9. Определяем мощность привода транспортера  $N_3$ , Вт:

$$N_3 = \frac{k \cdot L \cdot M}{3600}, \quad (8.12)$$

где  $k$  – коэффициент сопротивления при движении ленты транспортера  $k = 15 \dots 20$ .

$L$  – длина транспортера, м,  $L = 1 \dots 1,5$  м.

$\eta$  – КПД механического привода,  $\eta = 0,8$ .

10. Определяем технологическая мощность привода пельменного автомата

$$N = N_1 + N_2 + N_3 \quad (8.13)$$

где  $N_1$  – мощность привода питателя для теста, Вт;

$N_2$  – мощность привода питателя для фарша, Вт;

$N_3$  – мощность привода транспортера, Вт.

## 9. МЕСИЛЬНО-ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ

### РАСЧЕТ ДВУХЛОПАСТНОЙ ФАРШЕМЕШАЛКИ

**Задание.** Определить размеры дежи; производительность  $Q$  и мощность двигателя  $N$  фаршемешалки периодического действия.

Данные для расчета приведены в табл. 9.1.

**Таблица 9.1 Варианты индивидуальных заданий**

Последняя цифра шифра	Объем рабочей камеры $V$ , л	Продукт фарш для колбас	Предпоследняя цифра шифра	Частота вращения лопастей, $n$ , мин <sup>-1</sup>
<b>0</b>	65	вареных	<b>0</b>	130
<b>1</b>	70	полукопченых	<b>1</b>	135
<b>2</b>	75	вареных	<b>2</b>	90
<b>3</b>	80	полукопченых	<b>3</b>	95
<b>4</b>	85	вареных	<b>4</b>	100
<b>5</b>	90	полукопченых	<b>5</b>	105
<b>6</b>	95	вареных	<b>6</b>	110
<b>7</b>	100	полукопченых	<b>7</b>	115
<b>8</b>	110	вареных	<b>8</b>	120
<b>9</b>	120	полукопченых	<b>9</b>	125

Из таблицы 9.1 выписываем данные в соответствии с шифром зачетной книжки и заносим в таблицу 9.2.

**Таблица 9.2 Исходные данные для расчета**

Показатель	Единица измерения	Условное обозначение	Значение
Объем рабочей камеры	м <sup>3</sup>	$V$	
Частота вращения лопастей	мин <sup>-1</sup>	$n$	
Продукт			

### Последовательность расчета

1. Определяем производительность фаршемешалки  $Q$ , кг/ч:

$$Q = \frac{3600 \cdot m}{T_{\text{ц}}} = \frac{3600 \cdot \alpha \cdot \rho \cdot V}{t_0 + t_n} = \frac{3600 \cdot \alpha \cdot \rho \cdot V}{t_0(1 + \varphi)}, \quad (9.1)$$

где  $m$  – масса продукта, загруженного в дежу, кг;

$T_{\text{ц}}$  – время полного цикла обработки продукта, с;

$\alpha$  – коэффициент заполнения дежи,  $\alpha = 0,65 \dots 0,75$ ;

$\rho$  – плотность перемешиваемого продукта, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho = 1000 \dots 1100$  кг/м<sup>3</sup>).

$V$  – вместимость дежи, м<sup>3</sup>;

$t_0$  – время, необходимое для равномерного перемешивания всех компонентов, с ( $t_0 = 180 \dots 300$  с);

$t_n$  – время, необходимое для загрузки и разгрузки камеры, с;

$\varphi$  – доля подготовительно заключительных операций (для мешалок периодического действия  $\varphi = 0,1 \dots 0,3$ ).

2. Определяем радиус желоба дежи  $R$ , м:

$$R = \sqrt{\frac{V}{L \cdot \left( \frac{\pi}{2} \cdot z + 2 \cdot a \cdot z + a^2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \right)}}, \quad (9.2)$$

где  $z$  – количество параллельных желобов, образующих объем дежи;  
 $L$  – длина отдельного желоба или дежи, м ( $L=1,2\dots2$  м);  
 $a$  – отношение глубины расположения оси валов лопастей к радиусу желоба,  $a=h/R=1,2\dots1,6$ ;  
 $h$  – глубина расположения оси валов лопастей, м.  
 $\gamma$  – угол расширения желоба,  $\gamma=10\dots15^\circ$ .

3. Радиус лопасти или винта  $R_{\text{л}}$  принимают в зависимости от радиуса желоба:

$$R_{\text{л}} = R - c, \quad (9.3)$$

где  $R$  – радиус желоба дежи, мм;  
 $c$  – зазор между обечайкой дежи и лопастью, мм ( $c = 2\dots4$  мм).

4. Длину лопасти  $L_{\text{л}}$  принимают в зависимости от длины желоба

$$L_{\text{л}} = L - b, \quad (9.4)$$

где  $L$  – длина желоба дежи, мм;  
 $b$  – зазор между торцом дежи и лопастью, мм ( $b = 5\dots8$  мм).

5. Определяем площадь поверхности лопасти мешалки шнекового типа:

$$F_{\text{л}} = \frac{(D_{\text{л}} + d_{\text{л}})}{2} \cdot L_{\text{л}}, \quad (9.5)$$

где  $D_{\text{л}}$  – диаметр лопасти, м;  
 $L_{\text{л}}$  – длина месильной лопасти, м;  
 $d_{\text{л}}$  – внутренний диаметр лопасти, м ( $d_{\text{л}} = 0,04\dots0,06$  м).

6. Определяем площадь лобовой поверхности лопасти

$$F = F_{\text{л}} \cdot \cos \beta \quad (9.6)$$

где  $F_{\text{л}}$  – площадь поверхности месильной лопасти, м<sup>2</sup>;  
 $\beta$  – угол между лопастью и осью вращения вала месильного винта (вала), град, для двухлопастных с лопастями шнекового типа  $\beta = 8\dots10^\circ$ .

7. Определяем окружную скорость месильных лопастей  $v$ , м/с по среднему диаметру:

$$v = \frac{\pi \cdot n}{60} \cdot \frac{(D_{\text{л}} + d_{\text{л}})}{2}, \quad (9.7)$$

где  $n$  – частота вращения лопастей, мин<sup>-1</sup>.

8. Определяем удельное сопротивление, испытываемое единицей лобовой поверхности лопасти при перемешивании фарша:

$$\sigma_{\phi} = \sigma_0 + \xi \cdot v \quad (9.8)$$

где  $\sigma_0$  – условное начальное сопротивление, Н/м<sup>2</sup> (для фаршей вареных колбас, котлетного фарша  $\sigma_0 = 4000\dots8000$  Н/м<sup>2</sup>, для фаршей полукопченых колбас  $\sigma_0 = 13000\dots15000$  Н/м<sup>2</sup>);



$\xi$  – параметр, зависящий от вида фарша,  $(\text{Н}\cdot\text{с})/\text{м}^3$  (для фаршей вареных колбас  $\xi = (4\dots5)\cdot 10^3$   $(\text{Н}\cdot\text{с})/\text{м}^3$ , полукопченых колбас  $\xi = (8\dots 10)\cdot 10^3$   $(\text{Н}\cdot\text{с})/\text{м}^3$ ).

9. Определяем сопротивление, испытываемое лопастями  $P$ , Н:

$$P = \sigma_\phi \cdot F \quad (9.9)$$

где  $\sigma_\phi$  – удельное сопротивление, испытываемое единицей лобовой поверхности лопасти,  $\text{Н}/\text{м}^2$ .

10. Определяем скорость осевого смещения продукта одной лопастью с учетом трения продукта о рабочие органы:

$$v_0 = \omega \cdot R_\lambda \cdot (\sin\beta - f \cdot \cos\beta) \cdot \cos\beta, \quad (9.10)$$

где  $\omega$  – угловая скорость смещения продукта,  $\text{с}^{-1}$ .

$$\omega = (\pi \cdot n)/30 \quad (9.11)$$

$f$  – коэффициент трения,  $f = 0,26\dots 0,30$ .

11. Определяем среднюю скорость поступательного движения продукта вдоль оси мешалки  $v_{oc}$ :

$$v_{oc} = v_0 \cdot \psi, \quad (9.12)$$

где  $v_0$  – скорость осевого смещения продукта одной лопастью,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$\psi$  – коэффициент, учитывающий периодичность смещения продукта вдоль оси мешалки.

$$\psi = \frac{b \cdot \sin \beta}{2 \cdot \pi \cdot R_\lambda}, \quad (9.13)$$

здесь  $b$  – ширина лопасти,  $\text{м}$ , обычно равна радиусу вращения лопасти  $R_\lambda$ .

12. Определяем мощность электродвигателя фаршемешалки  $N$ , кВт

$$N = \frac{P \cdot v_{oc} \cdot z \cdot \eta_a}{1000 \cdot \eta}, \quad (9.14)$$

где  $P$  – сопротивление, испытываемое ведущей и ведомой месильными лопастями, Н;

$v_{oc}$  – средняя скорость поступательного движения продукта вдоль оси мешалки,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$\eta_a$  – коэффициент запаса мощности,  $\eta_a = 1,1\dots 2,0$ .

$\eta$  – КПД передаточного механизма  $\eta = 0,8\dots 0,9$

**Приложение А**  
**Основные физические свойства воды**

t, °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$c$ , кДж/(кг·К)	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^{-6}$ , Па·с	$\nu \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup> /с	Pr
0	999,8	4,24	0,551	1788,5	1,79	13,7
5	999,7	4,228	0,563	1528,8	1,540	11,3
10	998,9	4,211	0,586	1127	1,100	8,15
15	998,55	4,209	0,5925	1063,3	1,05	7,605
20	998,2	4,207	0,599	999,6	1,000	7,06
25	996,9	4,207	0,608	896,7	0,910	6,2
30	995,6	4,203	0,618	800,7	0,805	5,5
35	993,9	4,203	0,626	715,4	0,72	4,85
40	992,2	4,203	0,634	652,7	0,659	4,3
45	990,1	4,203	0,641	602,7	0,615	3,9
50	988	4,203	0,648	548,8	0,556	3,56
55	985,6	4,203	0,654	504,7	0,515	3,25
60	983,2	4,207	0,659	470,4	0,479	3
65	980,5	4,211	0,664	436,1	0,445	2,75
70	977,7	4,215	0,668	405,7	0,413	2,56
75	974,8	4,215	0,671	377,3	0,385	2,35
80	971,8	4,219	0,675	355,7	0,366	2,23
85	968,5	4,224	0,678	347,9	0,347	2,1
90	965,3	4,228	0,68	314,6	0,326	1,95
95	961,8	4,23	0,6815	298,4	0,3105	1,85
100	958,3	4,232	0,683	282,2	0,295	1,75

**Приложение Б**  
**Физические свойства сухого насыщенного пара**

Давление, 10 <sup>5</sup> Па	Температура, °C	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

**продолжение приложения Б**

Давление, 10 <sup>5</sup> Па	Температура, °С	Удельный объем, м <sup>3</sup> /кг	Энтальпия, кДж/кг	Скрытая теплота парообразования, кДж/кг
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 В**

**Основные физические свойства молока**

t, °С	ρ, кг/м <sup>3</sup>	с, 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
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 Г**

**Основные физические свойства сливок**

t, °С	ρ, кг/м <sup>3</sup>	с, кДж/(кг·К)	λ, Вт/(м·К)	μ·10 <sup>-3</sup> , Па·с	ν·10 <sup>-3</sup> , 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

**продолжение приложения Г**

<b>t, °C</b>	<b>ρ, кг/м³</b>	<b>с, кДж/(кг·К)</b>	<b>λ, Вт/(м·К)</b>	<b>μ·10<sup>-3</sup>, Па·с</b>	<b>ν·10<sup>-3</sup>, м²/с</b>	<b>Pr</b>
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 Д**

**Коэффициент поверхностного натяжения молока и сливок σ, Н/м**

<b>t, °C</b>	<b>Обезжиренное молоко жирностью, %</b>				<b>Молоко жирностью, %</b>				<b>Сливки жирностью, %</b>		
	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 Е**

**Трубы из нержавеющей стали (хромоникелевые)**

<b>Наружный диаметр, мм</b>	<b>Толщина стенки, мм</b>	<b>Наружный диаметр, мм</b>	<b>Толщина стенки, мм</b>
35	1,5	40	2,5
	2,0		
	2,5		3,5
	3,0	45	1,5
38		50	3,0
	1,5		1,0
	2,5		1,25
	3,0		2,75
	4,0		3,0

## Приложение Ж

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

Номер калорифера	Модель КФСО		Модель КФБО	
	$f_{K_2}, \text{м}^2$	$F_{K_2}, \text{м}^2$	$f_{K_2}, \text{м}^2$	$F_{K_2}, \text{м}^2$
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 К

### Технические характеристики

#### Вентиляторы взрывозащищенные из алюминиевых сплавов

Типоразмер вентилятора	Двигатель		Частота вращения, об/мин	Параметры в рабочей зоне	
	Типоразмер	Мощность, кВт		Производительность, $10^3, \text{м}^3/\text{ч}$	Полное давление, Па
ВР 280 46 ВА №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
ВР 280-46 ВА №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
ВР 230-46 ВА №4	АИМЛ 100L6	2,2	1000	2,7-6,8	590-690
	АИМП112МА6	3,0	1000	2,7-7,4	550-680
	АИМЛ 112М4	5,5	1500	4,3-8, 7	1310-1560
	ВА 132S4	7,5	1500	4,3-10,7	1310-1575
ВР 280-46 ВА №5	ВА132S6	5,5	1000	5,6- 12,0	860-1160
	8А132М6	7,5	1000	5,6-14,5	860-1195
ВР 280-46 ВА №6,3	ВА132М8	5,5	750	7,5-13,0	810-990
	ВА160S8	7,5	750	7,5-16,0	810-1050
	ВА160М8	11	750	7,5-22,0	810-1040
ВР 280-46 ВА №8	ВА200М8	18,5	750	14,5-26,2	1300-1600
	ВА200L8	22	750	14 5-32,0	1300-1680
	ВА225М8	30	750	14,5-38,5	1300-1700

## Приложение Л

### 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

### Библиографический список

1. Оборудование перерабатывающих производств : учебник / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, В.М. Зимняков [и др.]. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 363 с. Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1062370>
2. Бредихин, С. А. Технология и техника переработки молока : учебное пособие / С.А. Бредихин. — 2-е изд., доп. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 443 с. Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1353318>
3. Зуев, Н. А. Технологическое оборудование мясной промышленности. Мясорубки : учебное пособие / Н. А. Зуев, В. В. Пеленко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 80 с. Текст : электронный — URL: <https://e.lanbook.com/book/130573>
4. Зуев, Н. А. Технологическое оборудование мясной промышленности. Куттер : учебное пособие для вузов / Н. А. Зуев, В. В. Пеленко. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 72 с. Текст : электронный — URL: <https://e.lanbook.com/book/176841>
5. Зуев, Н. А. Технологическое оборудование мясной промышленности. Машины для перемешивания фарша : учебное пособие для вузов / Н. А. Зуев, В. В. Пеленко, В. А. Демченко. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 76 с. Текст : электронный — URL: <https://e.lanbook.com/book/169760>
6. 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.
7. Чаблин Б.В., Евдокимов И.А. Практикум по механическому оборудованию предприятий общественного питания. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 312 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. РАСЧЕТ ТРУБЧАТОГО ТЕПЛОБМЕННОГО АППАРАТА	4
2. РАСЧЕТ ГОМОГЕНИЗАТОРА	10
3. ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЁТ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	14
4.ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СРЕДНЕГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСА	21
5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕЛКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСА	5
6. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСА	30
7. МАШИНЫ ДЛЯ РЕЗАНИЯ ПРОДУКЦИИ ЗАДАННОЙ ФОРМЫ	33
8. ДОЗИРОВОЧНО-ФОРМОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	36
9. МЕСИЛЬНО-ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ	38
ПРИЛОЖЕНИЯ	42
Библиографический список	46

Составитель:

*Пшенов Евгений Александрович*

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МЯСНОЙ И  
МОЛОЧНОЙ ОТРАСЛИ**

задания и методические указания по выполнению  
контрольной работы

предназначены для студентов очной и заочной форм обучения  
по направлениям подготовки:

Технология производства и переработки сельскохозяйственной  
продукции.

Продукты питания животного происхождения

Печатается в авторской редакции

Компьютерная вёрстка Е.А. Пшенов

---

Подписано к печати 28 марта 2023 г.

Формат 60x84<sup>1/16</sup>

Объем 3 уч.-изд. л.

Тираж 40 экз.

Изд. №      Заказ №

Отпечатано в минитипографии Инженерного института НГАУ  
630039, г. Новосибирск, ул. Никитина 147