

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Механизация животноводства

**Направление подготовки (специальность) 35.03.06 Агроинженерия**

**Профиль образовательной программы Технические системы в агробизнесе**

**Форма обучения Очная**

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>1. Конспект лекций .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Лекция 1</b> Теоретические основы процесса приготовления комбинированных кормов	
<b>1.2. Лекция 2</b> Основы проектирования режущих аппаратов кормоприготовительных машин	
<b>1.3 Лекция 3</b> Теоретические основы дробление материалов	
<b>1.4 Лекция 4</b> Теоретические основы дробление материалов	
<b>1.5 Лекция 5</b> Функционально технологическая схема доильных установок с молокопроводом. Техническое обслуживание молочного оборудования	
<b>1.6 Лекция 6</b> Общее устройство и определение энергетических показателей доильного оборудования	
<b>1.7 Лекция 7</b> Теоретические основы переработки молока	
<b>1.8 Лекция 8</b> Математическое моделирование технологических процессов переработки животноводческих продуктов.	
<b>1.9 Лекция 9</b> Основы технической эксплуатации машин и оборудования в животноводстве	
<b>1.10 Лекция 10</b> Микроклимат животноводческих зданий и помещений	
<b>1.11 Лекция 11</b> Удаление и транспортировка навоза	
<b>2. Методические указания по выполнению лабораторных работ .....</b>	
<b>2.1 Лабораторная работа № ЛР-1</b> Экспериментально-теоретическое определение модуля помола.	
<b>2.2 Лабораторная работа № ЛР-2</b> Экспериментально-теоретическое исследование измельчения лезвием. Двухопорное резание лезвием	
<b>2.3 Лабораторная работа № ЛР-3</b> Экспериментальное определение углов откоса, обрушения и коэффициентов трения кормовых материалов	
<b>2.4 Лабораторная работа № ЛР-4</b> Экспериментально-теоретическое исследование рабочего процесса ленточного кормораздатчика	
<b>2.5 Лабораторная работа № ЛР-5</b> Экспериментально-теоретическое исследование процесса гранулирования и брикетирования кормов	
<b>2.6 Лабораторная работа № ЛР-6</b> Рабочие процессы и конструкция современных доильных аппаратов. Расчет молочной линии	
<b>2.7 Лабораторная работа № ЛР-7</b> Экспериментально-теоретическое определение коэффициента теплопередачи. Экспериментально-теоретические исследования и расчет пастеризаторов.	
<b>2.8 Лабораторная работа № ЛР-8</b> Экспериментально-теоретическое определение коэффициента теплопередачи. Экспериментально-теоретические исследования и расчет пастеризаторов.	
<b>2.9 Лабораторная работа № ЛР-9</b> Математическое моделирование процессов в животноводстве. Сервис и техническое обслуживание оборудования животноводства.	
<b>2.10.Лабораторная работа № ЛР-10</b> Расчет основных показателей микроклимата	
<b>2.11. Лабораторная работа № ЛР-1.10</b> Определение производительности фрезерующих рабочих органов погрузчика навоза	

# 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1. 1 Лекция №1 (2 часа).

**Тема:** «Теоретические основы процесса приготовления комбинированных кормов»

### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Цель, задачи и предмет изучения дисциплины «Механизация животноводства». Роль животноводства в АПК.
2. Вариативная модель приготовления кормовых смесей
3. . Расчет смесителей
4. Определение производительности спирально-винтового транспортёра

### 1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. *Цель, задачи и предмет изучения дисциплины «Механизация животноводства». Роль животноводства в АПК*

Целью изучения дисциплины является: приобретение Вами глубоких знаний по устройству, эффективному использованию и настройке на оптимальные режимы технологического оборудования животноводческих объектов. Научить Вас самостоятельно принимать аргументированные решения.

Задачи изучения дисциплины. В результате изучения дисциплины студент должен сформировать минимально-необходимый комплекс знаний и умений:

- а) должен иметь представление о машинных технологиях в животноводстве.
- б) должен знать устройство, технологические процессы и методы настройки машин на оптимальные режимы работы, обеспечивающие высокопроизводительную и безопасную эксплуатацию.
- в) должен уметь оценивать применяемые машины, системы машин, технологические линии и машинные технологии с различных точек зрения.
- г) уметь производить необходимые технологические расчеты по механизации животноводства, пользоваться специальной технической и справочной литературой.
- д) иметь навыки использования технических средств по механизации животноводства.

При изучении дисциплины используются следующие понятия и определения:

*Механизация* – это процесс внедрения машин и механизмов при выполнении производственных процессов на фермах, комплексах и фабриках.

*Комплексная механизация* – это механизация всех производственных операций по содержанию животных и птицы, получению продукции животноводства и ее первичной обработке комплексом машин с электроприводом и автоматическим управлением.

*Электрификация животноводства* – это процесс внедрения электрической энергии и электрооборудования в производственные процессы на фермах, комплексах и фабриках. Электрическая энергия через электропривод приводит в движение рабочие органы машин, которые выполняют полезную работу.

*Автоматика и автоматизация* – система различных приборов и механизмов, предназначенная для управления машинами в производственных процессах. В автоматической системе все операции управления работающими машинами выполняются средствами автоматики. В автоматизированной системе управления работой машин выполняется также средствами автоматики, но с учетом человека.

*Система машин* – набор машин для механизации всех операций, взаимосвязанных по технологическому циклу и производительности, входящих в технологический процесс.

*Производственный процесс* – совокупность операций, увязанных между собой по времени, месту и назначению, последовательное выполнение которых превращает исходный предмет труда в конечный продукт.

*Производственная операция* – часть производственного процесса, имеющая определенное назначение, выполняемая в определенное время, на одном рабочем месте.

## *2. Вариативная модель приготовления кормовых смесей*

Вариативная модель процесса смешивания кормов разработана с целью прогнозирования условий получения однородных кормовых смесей разной влажности при влиянии комплекса технологических решений и технологических подходов. Модель является многопараметрической, она базируется на многофункциональной системе взаимосвязанных разноплановых параметров (рис. 1).

Вариативная модель по сочетанию технических и технологических элементов подсистем с учетом множества начальных условий и допустимых значений показателей качества готовой кормосмеси позволяет получить разнообразные решения в рамках гарантируемого качества приготавливаемой готовой продукции. При этом функционально-структурная схема процесса смесеприготовления разной влажности включает в себя такие технологические подходы, как подготовка кормовых компонентов, водоподготовка и смешивание с обязательной оценкой качества готовой кормосмеси.

Основными характеристиками модели являются показатели качества – однородность  $M$  кормосмеси и концентрация  $C$  ключевого компонента.

Проблема определения качественных показателей заключается в том, что смесь имеет разные влажности. Качество сухих кормосмесей влажностью до 14% можно выразить таким статистическим показателем, как степень однородности  $M$  (%) (см. таблицу 1).

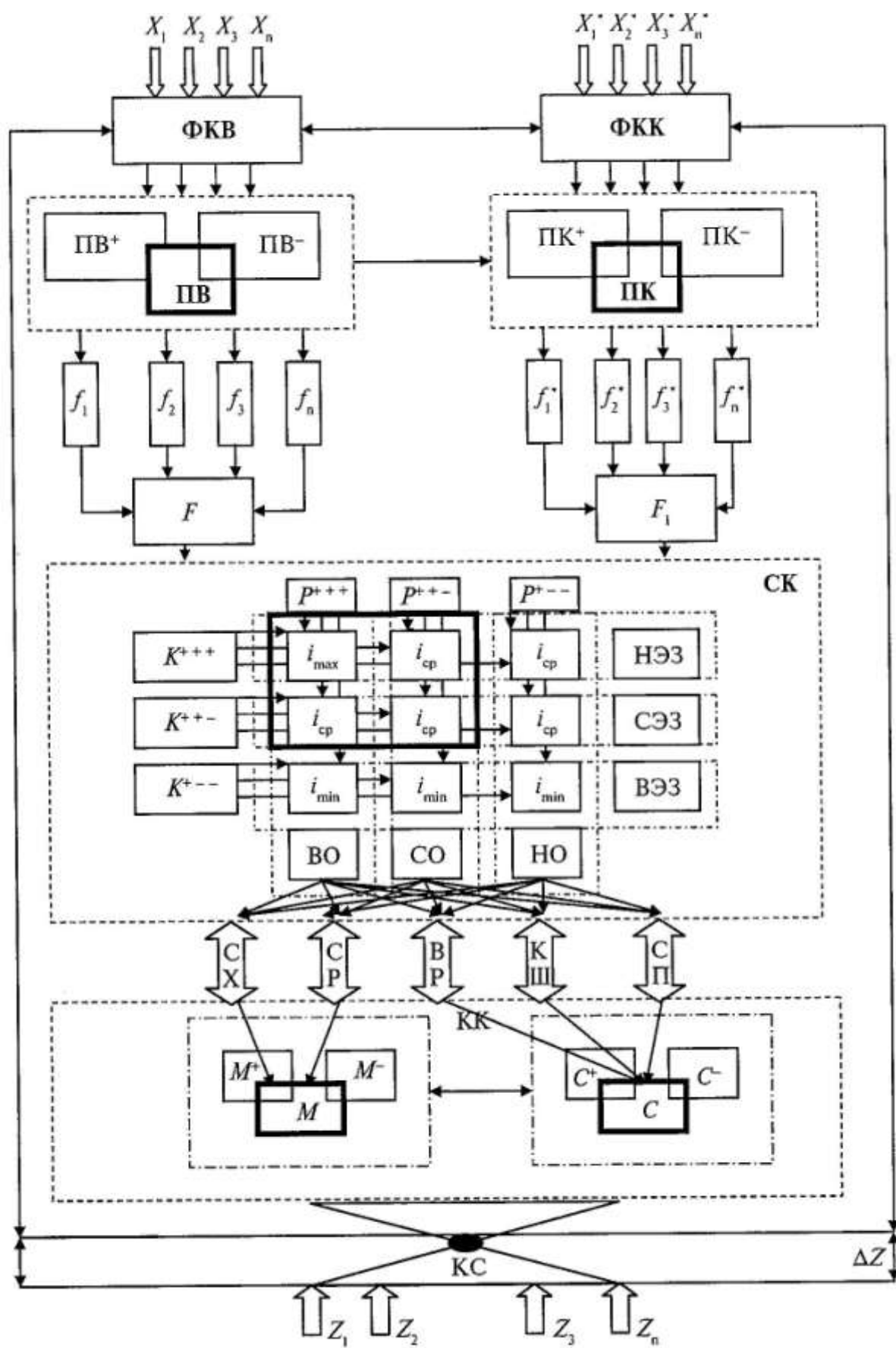


Рисунок 1. Многопараметрическая вариативная модель приготовления смеси:  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  – начальные параметры состояния воды (степень загрязнения, состав, температура и др.);  $X_1^*, X_2^*, X_3^*, \dots, X_n^*$  – начальные параметры состояния компонентов корма (физико-механические, реологические, химико-биологические свойства); ФКВ – блок формирования качества воды; ФКК – блок формирования качества компонентов корма; ПВ и ПК – оптимальные параметры подготовки воды и корма;  $PV^+, PV^-, PK^+, PK^-$  – отклонения от оптимального значения подготовки воды и корма;  $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$  – параметры состояния воды после очистки;  $f_1^*, f_2^*, f_3^*, \dots, f_n^*$  – параметры состояния компонентов корма после подготовки; F и  $F_1$  – состояние воды и компонентов корма перед смешиванием; СК – параметры смешивания компонентов корма;  $K^{+++}, K^{++}, K^{+-}$  – модельный ряд смесителей (с наилучшими, средними и наихудшими параметрами для данных компонентов);  $P^{+++}, P^{++}, P^{+-}$  – режимы процесса ( $P^{+++}$  оптимальный,  $P^{++}, P^{+-}$  – отклонения от оптимального; НЭЗ, СЭЗ, ВЭЗ – низкие, средние и высокие энергозатраты; ВО, СО, НО – высокая, средняя и низкая однородность приготавливаемой смеси;  $i_{\max}, i_{\text{ср}}, i_{\min}$  – внутренняя характеристика подсистемы смешивания (вибрационный импульс), дающая оптимальный, средний и неудовлетворительный выход качественных и энергетических показателей; СХ, СР, ВР, КШ, СП – параметры сухих, сухих рассыпных, влажных рассыпных кашеобразных и супообразных кормосмесей; КК – блок контроля качества смеси; С и М – концентрация ключевого компонента и однородность кормосмеси;  $C^+, C^-, M^+, M^-$  – отклонения от заданной концентрации ключевого компонента и однородности смеси; КС – полученная смесь;  $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$  – требуемые показатели качества смеси;  $\Delta Z$  – множество допустимых значений отклонений от заданного качества кормосмеси.

Теоретическая концентрация ключевого компонента

$$C(\gamma, t) = \frac{M}{2\rho\pi^{3/2}it} l^{-r^2 m}$$

позволяет прогнозировать однородность для кормосмеси влажностью до 57%, где  $M$  – полная масса ключевого компонента, кг;

$m$  – масса смеси, кг;

$r$  – радиус частиц,  $r = d_3/2$ ,  $d_3$  – эквивалентный диаметр частиц, м;

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

$i$  – вибрационный импульс, кг·м/с;

$t$  – продолжительность цикла смешивания, с.

Качество кашеобразных и супообразных кормосмесей можно определить через концентрацию  $C$  ключевого компонента

$$C = \frac{m_1 - V(m_2 m_1) \rho}{m_1 + m_2},$$

где  $m_1, m_2$  – массы частиц веществ, оно из которых является ключевым компонентом, кг;

$V$  – удельный объём смеси, м<sup>3</sup>/кг.

Методика прогнозирования дает возможность получить кормосмесь необходимого качества с учетом режимов процесса, физико-механических, реологических свойств компонентов и конструктивных особенностей оборудования. В частности, основой такой методики для вибросмесителей является расчет вибрационного импульса, передающегося от развитой виброактивной поверхности смешиваемым компонентам разной влажности, свойства которых нельзя не учитывать.

Так, вибрационный импульс для сухих рассыпных смесей

$$i = \frac{N}{eS_v} k_{ж},$$

где  $N$  – мощность, расходуемая на смешивание компонентов, кВт;

$k_{ж}$  – коэффициент жесткости,  $k_{ж} = \mathcal{K}/t$ ,  $\mathcal{K}$  – жесткость смеси, с;

$e$  – энергия единицы массы, Дж/кг;

$S_v$  – параметр виброактивности, м.

Подставив значения всех параметров, получим

$$i = \frac{\mathcal{K} \rho_H S_{BK}^2}{t^2 k_3},$$

где  $\rho_H$  – насыпная плотность смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$S_{BK}$  – площадь виброактивной поверхности, м<sup>2</sup>;

$k_3$  – коэффициент загрузки вибросмесительной камеры.

Если учесть характеристики исследуемого материала, т.е. вязкость и сопротивление сдвигу, можно записать:

$$i = \frac{\rho_H S_{BK}^2 \mathcal{K} \tau \Pi A}{t^2 k_3 m},$$

где  $\tau$  – сопротивление сдвигу;

$\Pi$  – подвижность смеси, м;

$A$  – амплитуда колебаний корпуса смесителя, м.

Теоретический подход к определению характеристик процесса смешивания компонентов разной влажности, отражен в таблице 3, где  $V$  – полезный объем смесителя, м<sup>3</sup>;  $k_{\Pi}$  – коэффициент подвижности;  $n$  – число отобранных проб;  $c_i$  – концентрация

ключевого компонента в  $i$ -й пробе, %;  $C$  – идеальная концентрация ключевого компонента, %;  $\Delta c$  – среднее значение концентрации компонента в  $n$  пробах, %.

Как известно, производство комбикормов заключается в перераспределении сухих веществ и влаги, а также в частичном преобразовании их в другие компоненты. Поэтому расчет распределения исходных сырьевых ингредиентов заключается в определении доли каждого из них в готовом продукте и отходах (если они есть).

Расчет сводится к последовательному добавлению числа ингредиентов и отнятию количества отходов (если они есть) согласно технологии производства вплоть до получения готовой кормосмеси.

Масса воды, используемой для доведения корма до определенной консистенции

$$V_K = \frac{\sum V_i (W_{исх.корма} - W_i)}{100 - W_{исх.корма}},$$

где  $W_{исх.корма}$  – важность исходного корма, %;

$W_i$  – влажность компонентов, входящих в корм, кроме воды, %;

$V_i$  – масса компонентов, входящих в корм (кроме воды), кг.

Согласно оптимизационному расчету масса воды учитывает не только число компонентов, входящих в кормосмесь, но и влажность каждого из них.

Вариативная модель процесса приготовления смесей с учетом множества начальных условий и допустимых значений показателей качества готовой продукции позволяет получить разнообразные решения в рамках требуемого качества.

Таблица 1. Теоретический подход к определению характеристик процесса смешивания кормокомпонентов разной влажности

Консистенция корма	Влажность корма, %	Вибрационный импульс, кг · м/с	Концентрация ключевого компонента, %
Сухие	до 14	$i = \frac{N}{eS_V} k_{\text{ж}}$	$M = 100 \left[ 1 - \frac{1}{\Delta c} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c - c_i)^2} \right]$
Сухие рассыпные	15...43	$i = \frac{\rho_H S_{BK}^2 \mathcal{K} \pi P A}{t^2 k_3 m}$	$C(\gamma, t) = \frac{M}{2\rho\pi^{3/2}it} t^{-r^2m}$
Влажные рассыпные	44...57	$i = \frac{mVA \tau k_{\text{ж}} k_{\Pi}}{S_{BK} t d_{\text{э}}}$	$C(\gamma, t) = \frac{M}{2\rho\pi^{3/2}it} t^{-r^2m}$
Кашеобразные	58...72	$i = \frac{mVA \tau k_{\text{ж}} k_{\Pi}}{S_{BK} t d_{\text{э}}}$	$C = \frac{m_1 - V(m_2 m_1) \rho}{m_1 + m_2}$
Супообразные	73...79	$i = \frac{mVA}{S_{BK} d_{\text{э}} t}$	$C = \frac{m_1 - V(m_2 m_1) \rho}{m_1 + m_2}$

### 3. Расчет смесителей

Технологический расчет смесителей предусматривает определение подачи и мощности, потребной для их привода, а также основных конструктивных параметров: размеры емкости, размеры и частота вращения рабочих органов.

*Шнековые смесители.* Теоретическую подачу  $Q_T$  любого транспортирующего устройства можно определить по формуле

$$Q_T = v_o F \rho \varphi_n,$$

где  $v_o$  – осевая скорость движения массы корма, м/с;

$F$  – площадь поперечного сечения шнека, м<sup>2</sup>;



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

$\varphi_H$  – коэффициент заполнения сечения шнека транспортируемой массой (для горизонтальных шнеков  $\varphi_H = 0,3 - 0,4$ , для вертикальных  $\varphi_H = 0,7 - 0,8$ ).

Для горизонтального шнека непрерывного действия эта формула будет иметь вид

$$Q_T = \pi(D^2 - d^2)sn_c\rho\varphi_H / 4,$$

где  $D$  и  $d$  – диаметры шнека и его вала, м;

$s$  – шаг винта, м;

$n_c$  – частота вращения ( $n_c = \omega/2\pi$ ), с<sup>-1</sup>.

Заменяя  $n_c$  её значением, получим

$$Q_T = \pi(D^2 - d^2)s\omega\rho\varphi_H / 8.$$

Такая подача может быть достигнута, если представить, что масса корма поступательно движется вдоль оси шнека подобно гайке, зафиксированной в направляющих на образующих кожуха и перемещающейся при вращении винта. При перемещении зернистых или пастообразных материалов осевая скорость будет значительно ниже теоретической, так как материал частично вращается вместе со шнеком. Это вызывает расслоение части потока и отставание некоторых частиц от массы, движущейся с максимально возможной скоростью  $v_{o\max} = r\omega \operatorname{tg} \alpha$ , где  $\alpha$  – угол подъема винтовой линии.

Минимальная осевая скорость

$$v_{o\min} = r\omega \sin \alpha (\cos \alpha - f \sin \alpha),$$

где  $f$  – коэффициент трения.

При этом минимальная подача горизонтального шнека будет

$$Q_{\min} = 0,25\pi(D^2 - d^2)\omega r_c \sin \alpha_c (\cos \alpha_c - f \sin \alpha_c) \rho \varphi_H,$$

где  $r_c$  – средний радиус шнека ( $r_c = 0,35 \sqrt{D^2 - d^2}$ );

$\alpha_c$  – средний угол развертки винта ( $\operatorname{tg} \alpha_c = s/2\pi r_c$ ).

Мощность, требуемую для привода шнековых смесителей, определяют по формулам:

для горизонтального

$$N_{ш.г.} = 0,01kQL,$$

для вертикального

$$N_{ш.в.} = 0,01QL,$$

где  $k$  – приведённый коэффициент сопротивления движению корма на кожуху шнека (равный для зерна и комбикормов – 1,2; сырого плода – 1,5; соли – 2,5; опилок – 4; кусков мяса, измельченных на ломтики корнеплодов – 8 – 10).

*Лопастные смесители.* Подачу горизонтального лопастного смесителя непрерывного действия определяют по формуле

$$Q_T = D^2 s \omega \rho \varphi_H / 8,$$

где  $\varphi_H$  – коэффициент заполнения емкости ( $\varphi_H = 0,3$ ).

Лопастные смесители для приготовления кормовых смесей, как правило, порционного действия и допускают загрузку до  $\varphi_H = 0,8$  и геометрического объема для влажных и  $\varphi_H = 0,7$  – для полувлажных кормов.

Скорость вращения лопастей определяется из условия, что центробежная сила  $m\omega^2 R_l$ , действующая на частицу не должна превышать силы тяжести этой частицы, иначе она сойдет с лопасти и выйдет из активного процесса перемешивания.

При  $m\omega^2 R_l \leq mg$  критическая, т.е. максимально допустимая, угловая скорость лопастной мешалки

$$\omega_{кр} = \sqrt{g / R_l},$$

где  $R_d$  – наибольший радиус вращения лопасти, м.

Мощность  $N_d$  – для привода лопастного смесителя определяется с учетом действующих на лопасти сопротивлений. Рассмотрим схему сил (рис. 2), действующих в плоскости, перпендикулярной к оси вала мешалки, когда лопасть погружена в перемешиваемый корм.

На лопасть действует равнодействующая  $R$  всех сопротивлений, отклоненная от нормали  $N$  на угол  $\varphi$  трения. Для преодоления этой равнодействующей необходимо приложить со стороны лопасти равное  $R$ , но противоположно направленное усилие  $P$ .

Нормальную составляющую  $P_n$  этого усилия разложим по направлениям окружной и осевой скоростей, в результате получим усилия  $P_p$ , сообщаемые частицам вращательное движение, и  $P_o$ , перемещающие эти частицы в осевом направлении. При этом  $P'_p = P_n \cos \alpha$  и  $P''_o = P_n \sin \alpha$ , где  $\alpha$  – угол наклона лопасти к оси вращения вала мешалки.

Кроме того, под действием нормальной составляющей равнодействующей  $R$  в плоскости движения частиц по лопасти возникает сила трения  $F_{mp} = fP_n$ , направленная против относительного движения частиц по лопасти.

Разложим силу трения  $F_{TP}$  на окружную и осевую составляющие:  $F'_{TP.P} = F_{TP} \sin \alpha = fP_n \sin \alpha$  и  $F'_{TP.O} = F_{TP} \cos \alpha = fP_n \cos \alpha$ .

Суммируя полученные векторы по направлениям, получим значения: окружного усилия  $P_p = P'_p + F'_{TP.P} = P_n (\cos \alpha + f \sin \alpha)$ ; осевого усилия  $P_o = P''_o - F'_{TP.O} = P_n (\sin \alpha - f \cos \alpha)$ .

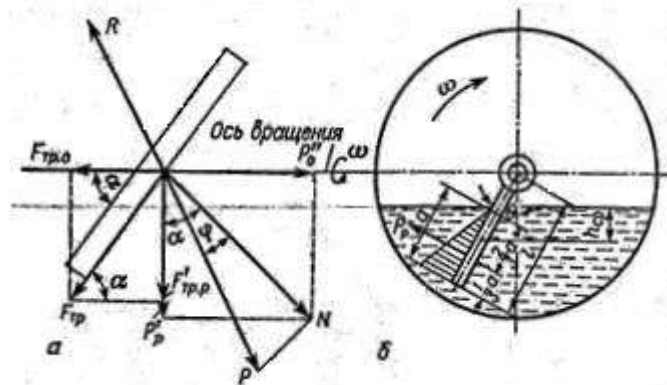


Рисунок 2. Расчетные схемы лопастного смесителя: а – действующие силы; б – конструктивные параметры.

При движении погруженной в материал лопасти сопротивления вдоль неё распределяется по закону треугольника (рис. 23) и точка равнодействующей  $R$  находится в центре тяжести этого треугольника, или на расстоянии  $r_{cp}$  двух третей длины лопасти от оси вращения.

$$P_n = 9,81 \rho h_{cp} F_l \operatorname{tg}^2 45 + (\varphi / 2),$$

где  $h_{cp}$  – средняя глубина, равная половине наибольшей глубины погружения лопасти, м;

$F_l$  – проекция площади лопасти, погруженной в материал, на направление, м<sup>2</sup>;

$\varphi$  – угол внутреннего трения, град.

Косо поставленные лопасти в смесителе действуют подобно шнеку и сообщают перемешиваемой массе корма окружную (вращательную)  $v_p$  и окружную  $v_o$  скорости.

Мощность  $N_d$  (кВт), потребная на привод лопастной мешалки, определится по формуле

$$N_{\lambda} = (P_p v_p + P_o v_o) z_{\lambda} / 1000,$$

где  $z$  – число одновременно погружаемых лопастей.

Значения окружной скорости можно определить по формуле

$$v_p = \omega r_{cp},$$

где  $r_{cp}$  – средний радиус, или расстояние от оси вращения до точки приложения равнодействующей сил сопротивлений, м.

Осевая скорость равна

$$v_o = v_p \cos \alpha \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол наклона лопасти к оси вращения вала мешалки.

При проектировании лопастных смесителей непрерывного действия рекомендуется вести расчет основных параметров на основе теории подобия.

#### 4. Определение производительности спирально-винтового транспортера

При раздаче кормов на животноводческих фермах довольно часто используют спирально-винтовые транспортеры. В основу расчета их производительности положена известная формула:

$$Q = \psi F_p v_{ZCP} \gamma,$$

где  $\psi$  – коэффициент заполнения кожуха материалом;

$v_{ZCP}$  – средняя осевая скорость движения материала, м/с;

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

Рабочая площадь поперечного сечения кожуха

$$F_p = \frac{\pi}{4} \left( D^2 - d_B^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right), \quad (1)$$

где  $D$  – внутренний диаметр кожуха, м;

$d_B$  – диаметр вала спирали, м;

$\delta$  – диаметр проволоки спирали, м;

$\alpha$  – угол подъема витков спирали, рад.

Угол подъема витков спирали

$$\alpha = \arctg \left( \frac{S}{\pi d_{cp}} \right),$$

где  $S$  – шаг навивки спирали, м;

$d_{cp}$  – средний диаметр спирали,

$$d_{cp} = d - \delta;$$

$d$  – наружный диаметр спирали, м.

Тогда

$$\alpha = \arctg \left( \frac{S}{\pi(d - \delta)} \right). \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), после преобразований получим

$$F_p = \frac{\pi}{4} \left( D^2 - d_B^2 - \frac{\delta^2 \pi (d - \delta) \sqrt{1 + \frac{S^2}{\pi^2 (d - \delta)^2}}}{S} \right).$$

Среднюю осевую скорость движения материала определяют по формуле тихоходного режима транспортирования, при котором принимается допущение о том, что средняя осевая скорость движения материала равна осевой скорости витков вращающейся спирали. Однако при этом не учитывается то, что при транспортировании часть материала пересыпается через витки спирали, в результате чего его средняя осевая скорость оказывается меньше осевой скорости витков спирали.

Рассмотрим движение материала под действием витков спирали. Анализ процесса транспортирования материала спиральными рабочими органами показывает, что свободная поверхность перемещаемого сыпучего материала в продольном сечении наклонена к горизонтали под углом  $\rho$  естественного откоса (рис. 3).

Приняв допущение о прямолинейности свободной поверхности сыпучего тела, определим среднюю осевую скорость движения материала. Согласно эпюре скоростей (рис. 25), средняя осевая скорость

$$v_{zcp} = \frac{v_{zcp} \delta + 0,5 v_{zcp} (h - \delta)}{h} = \frac{v_{zcp}}{2h} (\delta + h),$$

где  $v_{zcp}$  – осевая скорость витков спирали, м/с;  
 $h$  – максимальная высота сыпучего тела, м.

Осевая скорость витков спирали

$$v_{zcp} = \frac{S\omega}{2\pi},$$

где  $\omega$  – частота вращения спирали, с<sup>-1</sup>.

В процессе работы спираль перемещает часть материала, имеющего в поперечном сечении форму кольца толщиной  $h$ . Площадь этого материала

$$A_M = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi (D - 2h)^2}{4} = \pi h (D - h),$$

откуда

$$h^2 - Dh + \frac{A_M}{\pi} = 0.$$

Собственные числа (корни) полученного квадратного уравнения

$$h_{1,2} = \left( D \pm \sqrt{D^2 - \frac{4A_M}{\pi}} \right) / 2.$$

Коэффициент заполнения винтового пространства спирали  $\psi_{max} = 0,5$ . Следовательно,  $h < D/2$ . поэтому можно записать

$$h = \left( D - \sqrt{D^2 - \frac{4A_M}{\pi}} \right) / 2.$$

В свою очередь  
откуда площадь

$$\psi = A_M / F_p.$$

$$A_M = \psi F_p.$$

Тогда с учетом этого выражения и рабочей площади поперечного сечения кожуха  $F_p$  толщина кольца транспортируемого материала

$$h = \left( D - \sqrt{D^2 - \psi \left( D^2 - d_B^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right)} \right) / 2.$$

С учетом  $F_P$ ,  $v_{ZCP}$  и  $v_{ZCP}$  производительность спирали

$$Q = \frac{S \omega \psi \chi (\delta + h)}{16h} \left( D^2 - d_B^2 - \frac{\delta^2}{\sin \alpha} \right).$$

Применение этого выражения для определения производительности спирально-винтового транспортера в инженерных расчетах позволяет получить более точные результаты.

## 1. 2 Лекция №2 (2 часа).

**Тема:** «Основы проектирования режущих аппаратов кормоприготовительных машин»

### 1.2.1 Вопросы лекции:

1. Режущие аппараты кормоприготовительных машин.
2. Формы кривых для лезвия ножа и факторы, влияющие на резание со скольжением.
3. Характеристика ножей.
4. Диаграмма моментов резания

### 1.2.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Режущие аппараты кормоприготовительных машин

##### 1. Дисковые режущие аппараты

а – дисковый режущий аппарат с радиальным расположением ножа применяется в дисковых корнерезках, осуществляет рубку.

б – дисковые режущие аппараты с эксцентрично расположенным ножом, осуществляют резание со скольжением. Эти аппараты могут иметь разные формы лезвий – прямые, ломаные, криволинейные.

Диск корнерезки может быть расположен вертикально или горизонтально, в нем имеются прорези для установки ножей. В аппарате с горизонтальным диском защемление материала происходит за счет силы тяжести этого материала (корнеклубнеплодов), и в аппаратах с горизонтальным диском – за счет защемлений материала между диском и корпусом корнерезки.

В отличие от предыдущих, никаких дисков в этих аппаратах нет – дисковыми они названы, потому что ножи аппарата расположены на виртуальном диске, в плоскости которого они вращаются.

##### 2. Барабанные режущие аппараты

а – барабанный режущий аппарат с ножом, расположенным по образующей барабана

б – барабанный режущий аппарат с ножом, расположенным под углом  $\tau$  к образующей барабана. Эти аппараты применяют в силосоуборочных комбайнах.

##### 3. Центробежные режущие аппараты

Как правило, их применяют для измельчения корнеплодов. Данные об этих аппаратах приведены ниже.

## 2. Формы кривых для лезвия ножа

Форма лезвия ножа оказывает большое влияние на качество и энергетику процесса. Чтобы выявить, какая форма является наилучшей, В.П. Горячкин проанализировал следующие возможные кривые для лезвия ножа:

Гиперболическая спираль;

Логарифмическая спираль ( $\tau = const$ );

Архимедова спираль;

Эксцентрическая окружность;

Развертка окружности;

Инверсия развертки  $\left( \frac{d\psi}{du} = const \right)$ ;

Прямая;

$\chi = const$ ;

$r \cdot \cos(\tau - \varphi) = const$ .

Наиболее подходящей кривой является форма лезвия ножа, ограниченная по эксцентрической окружности.

Рассмотрим, какие факторы влияют на процесс резания со скольжением, и за счет чего можно снизить затраты энергии при работе этого аппарата.

### Факторы, влияющие на процесс резания со скольжением

**Защемление материала.** Чтобы резать материал, режущая пара (лезвие ножа и противорежущая пластина) должна его защементировать, иначе материал будет выталкиваться из пары. Наверное, вы сами не раз наблюдали это выталкивание, когда резали ножницами какой-либо большой предмет. Для того чтобы выталкивание материала не происходило, необходимо выполнить **условие защемления**  $\alpha \leq \varphi + \varphi_2$ ,

где  $\alpha$  – угол защемления,

$\varphi_1$  – угол трения ножа о материал,

$\varphi_2$  – угол трения материала о противорежущую пластину.

Иногда это условие не выполняется, но материал все-таки защемеряется. Это происходит, потому что материал плотно удерживается питающими пальцами, которые противодействуют силе выталкивания материала из раствора «нож-противорежущая пластина». Схема определения угла защемления показана на рис. 1.

**Скольжение ножа по материалу.**

При резании, как и при дроблении, большое значение имеет энергетика процесса. Рассмотрим схему дискового аппарата с криволинейной формой лезвия (рис. 2) и определим момент резания  $M_{рез} = P \cdot r$ .

В этом выражении радиус-вектор  $r$  будет изменяться от минимального до максимального значения, по мере перемещения лезвия ножа по противорежущей пластине. Следовательно, при постоянной величине силы резания  $P$  момент  $M_{рез}$  тоже будет увеличиваться от минимального до максимального значения. В результате имеет место неравномерность нагрузки на вал аппарата, который к тому же затрачивает на процесс наибольшее количество энергии.

Посмотрим, за счет чего можно снизить  $M_{рез}$  (рис. 2).

Для этого проведем перпендикуляр из точки  $O$  к нормали  $O_1K$ , получим треугольник, в котором угол  $AOK$  равен  $\tau$ . Найдем плечи сил  $T$  и  $N$  и определим

$$M_{рез} = N \cdot OA + T \cdot AK$$

Расшифруем величины, входящие в это выражение, и введем некоторые обозначения:

The diagram illustrates a mechanical system. On the left, a lever is pivoted at point  $O$  and rotates with angular velocity  $\omega$ . A point  $A$  is located on the lever at a distance  $r$  from the pivot. The lever makes an angle  $\tau$  with the horizontal. A force  $P$  is applied at point  $A$ . The lever is connected to a horizontal block at point  $K$ . The block is constrained to move vertically along a guide, with its displacement denoted by  $\Delta S$ . At point  $K$ , several forces and geometric parameters are shown: a normal force  $N$  acting perpendicular to the lever, a reaction force  $P$  acting at an angle  $\tau$  to the vertical, a vertical force  $U$ , and a force  $a$  acting along a curved path. The angle between the lever and the vertical is  $\psi'$ . The horizontal distance from the pivot  $O$  to point  $K$  is labeled  $z$ .

Рисунок 2. Схема работы режущего аппарата дискового типа.

$$N = q \cdot \Delta S, \text{ а } T = q \cdot \Delta S \cdot \operatorname{tg} \varphi'.$$

Подставим эти обозначения в формулу и получим

$$M_{\text{рез}} = \Delta S \cdot q \cdot r \cdot \cos \tau + q \Delta S \operatorname{tg} \varphi' \cdot r \cdot \sin \tau$$

или  $M_{\text{рез}} = r \cdot \Delta S \cdot \cos \tau (q + q \operatorname{tg} \tau \cdot \operatorname{tg} \varphi')$  – основная формула момента резания по В.П. Горячкину.

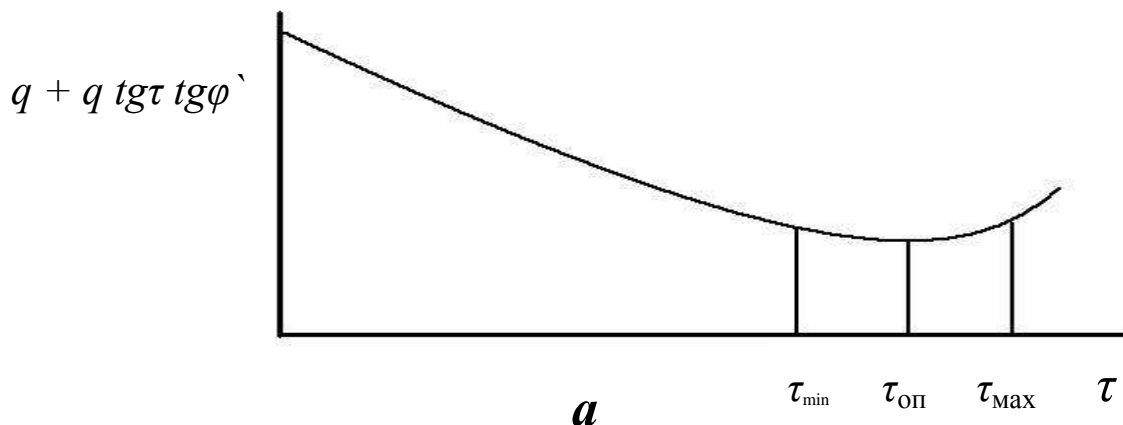
Анализ показывает, что максимальный  $M_{\text{рез}}$  может быть снижен только в том случае, если с увеличением радиуса-вектора  $r$  все остальные величины будут уменьшаться. В частности, должны уменьшаться  $\cos \tau$  и  $(q + q \operatorname{tg} \tau \cdot \operatorname{tg} \varphi')$  – обобщенная характеристика резания. Какими они должны быть, видно из графика (рис. 3а). При минимальной обобщенной характеристике выбирают оптимальный угол  $\tau$  и диапазон его изменения: для соломы  $\tau = 30 \dots 60^\circ$ , а для силоса –  $\tau = 20 \dots 30^\circ$ .

Влияние **удельного давления ножа** на процесс резания различных материалов ( $q$ ) можно показать на графике (рис. 3б), на котором представлена зависимость  $q = f(\tau)$ , график построен по опытным данным. Анализируя зависимость  $q = f(\tau)$ , следует обратить внимание на то, как  $q$ , которое по сути дела, характеризует свойства материала, влияет на угол  $\tau$ . На графике видно, в каких пределах при минимальном  $q$  нужно выбирать  $\tau$  для резки соломы и силоса и почему резать со скольжением корнеплоды не выгодно – их нужно рубить.

Среди остальных факторов, влияющих на процесс резания, следует отметить **остроту заточки лезвия ножа, состояние и свойства материала, регулировки режущей пары** и др.

На основании анализа факторов, разработаны следующие **требования** к режущим аппаратам, осуществляющим резание со скольжением.

1. Условие зацебления должно быть выполнено по всей длине противорежущей пластины.
2. Угол скольжения  $\tau$  должен находиться в оптимальных пределах и возрастать с увеличением радиуса – вектора  $r$ .





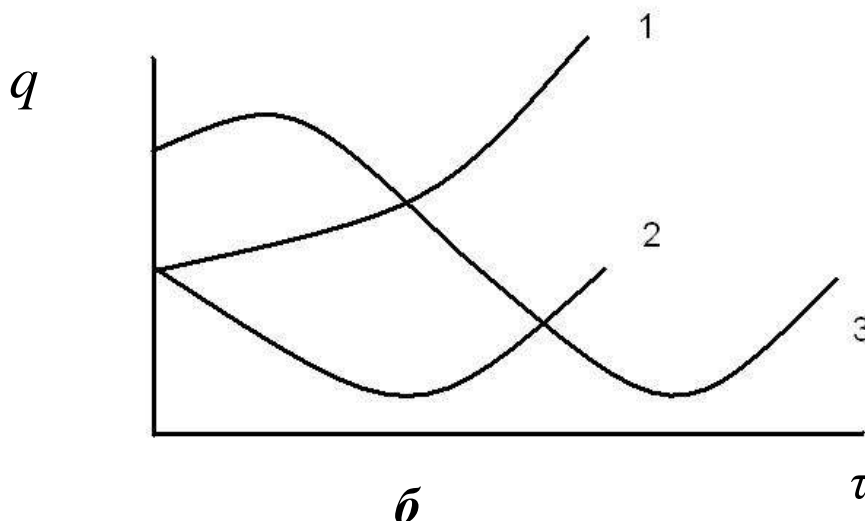


Рисунок 3.

а – диапазон изменений угла  $\tau$  в зависимости от обобщенной характеристики резания

б – зависимость угла  $\tau$  от удельного давления ножа на разные материалы:

- 1 – корнеклубнеплоды,
- 2 – силосозелень,
- 3 – солома.

С увеличением радиуса вектора длина загруженной части лезвия ножа  $\Delta S$  по возможности не должна увеличиваться.

### 3. Характеристики ножей с различными формами лезвия

Эти характеристики рассмотрим с точки зрения требований к режущим аппаратам.

1. Нож с прямолинейным лезвием: условие защемления выполняется по всей длине противорежущей пластины, но  $\tau$  с увеличением  $r$  не возрастает, а уменьшается.  $\Delta S$  с увеличением  $\tau$  также увеличивается, т.е. нож не удовлетворяет требованиям. Также ножи применяют в небольших по размеру соломосилосорезках с небольшой длиной противорежущей пластины.

С целью улучшить характеристики ножа с прямолинейным лезвием, его изготавливают ступенчатым.

2. Нож с лезвием, очерченным по эксцентрической наружности.

Сначала начертим схему режущего аппарата (рис. 9а). Для этого обозначим на схеме точку  $O$  – центр вращения, и проведем через неё вертикальную линию. На расстоянии  $e$  (эксцентриситет) от точки  $O$  обозначим  $O_1$  – центр окружности с радиусом  $R$ , на которой и будем строить лезвие ножа.

На вертикальной оси покажем точки  $A$  и  $B$  (они расположены на эксцентрической окружности) и точку  $C$  – начало резания. В точках  $A$ ,  $B$  и  $C$ , а также  $A_1$  и  $B_1$  покажем угол скольжения  $\tau$ .

Посмотрим, как этот режущий аппарат удовлетворяет сформированным выше **требованиям**.

Защемление материала между ножом и противорежущей пластиной в этом аппарате обеспечивается питающими вальцами.

Чтобы увидеть, как изменяется  $\tau$  в зависимости от  $r$  и угла  $\theta$ , построим  $\tau$  в точках  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

$$\begin{array}{llll} \text{в точке } A & r = R - e, & \tau = 90^\circ, & \theta = 0 \\ \text{в точке } B & r = R - e, & \tau = 90^\circ, & \theta = \pi \\ \text{в точке } C & r = \sqrt{R^2 - e^2}, & \tau = \min, & \theta = \frac{\pi}{2} \end{array}$$

Этот искусственный прием позволил нам выявить, что угол  $\tau$  возрастает с увеличением  $r$  на участке от  $C$  до  $B$  (рабочий участок). Для наглядности можно посмотреть и график изменения  $\tan \tau$  от  $r$  (рис. 9б). Здесь четко видно, что на участке  $AC$   $\tan \tau$  (а следовательно и  $\tau$ ) с увеличением  $r$  уменьшается, а на участке  $CB$  – увеличивается, т.е. требование выполняется.

Наконец,  $\Delta S$  – загруженная (активная) часть лезвия ножа с увеличением  $r$  почти не изменяется.

Таким образом, режущий аппарат с лезвием, очерченным по эксцентрической окружности, удовлетворяет всем требованиям.

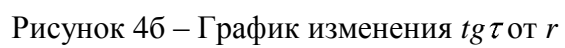
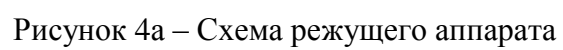
В заключение этого раздела, заметим, что  $\cos \tau_{\min} = \frac{e}{R}$  (это видно из треугольника  $O_1, C, O$ ) и его численные значения изменяются следующим образом

$\frac{e}{R}$	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,9	1
$\tau_{\min}$	60	53	43	41	37	25	0

На соломорезках отношение  $\frac{e}{R}$  берется равным 0,75 ( $\tau_{\min} = 41^\circ$ ), а на силосорезках – 0,9 ( $\tau_{\min} = 25^\circ$ ).

#### 4. Диаграмма моментов резания, выбор мощности двигателя.

Момент резания за время работы одного ножа изменяется от нуля до максимального значения и от него снова до нуля (рис. 4). Поэтому потребную мощность двигателя для привода соломосилосорезки определяют по величине среднего момента резания  $M_{\text{рез ср}}$ . К тому же следует иметь ввиду, что несоблюдение требований к режущему аппарату приводит к возрастанию минимального момента к пиковым нагрузкам на опоры аппарата и увеличению  $M_{\text{рез ср}}$ .



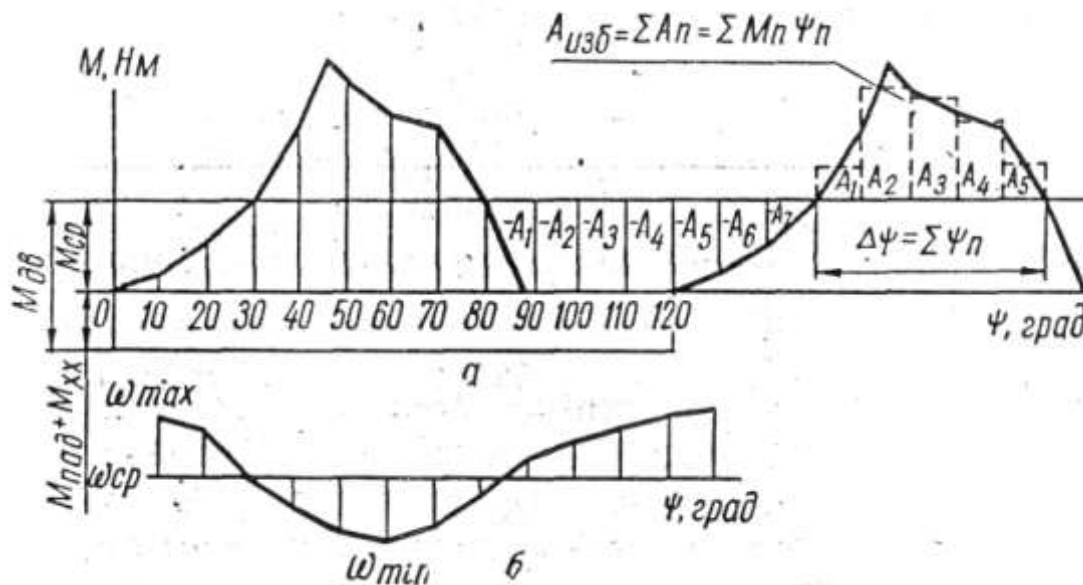


Рисунок 5. Диаграмма моментов резания (а) и график изменения угловой скорости (б).

Полная работа резания одного ножа за один оборот аппарата на угол  $\frac{2\pi}{K}$  :

$$A_{рез} = S_o \frac{2\pi}{K} M_{рез\,cp} \psi = S_o \frac{2\pi}{K} M_{рез\,cp} cl\psi$$

где  $K$  – число ножей,  
 $\psi$  – угол поворота ножа.

Тогда

$$M_{рез\,cp} = \frac{A_{рез} \cdot K}{2\pi} = \frac{S \cdot M_m \cdot M_\psi}{\pi}$$

где  $M_m$  – масштаб, в котором на графике отложен  $M_{рез}$ ,  
 $M_\psi$  – масштаб, в котором отложены  $\psi$ .

Работа в соломосилосорезках расходуется не только на резание материала, но и на уплотнение слоя стеблей питающими вальцами  $M_{nod}$  и преодоление вредных сопротивлений трения в опорах и передаточных механизмах. С учетом этого вращающий момент машины должен быть

$$M_{вращ} = M_{рез\,cp} + M_{nod} + M_{x.x.} = M_{дв}$$

Соотношение этих моментов составляет 3:1:1, т.е.  $M_{двиг} = \frac{5}{3} M_{рез\,cp}$ ,

а

$$N_{дв} = \frac{M_{дв} \cdot \omega_{cp}}{102} \text{ кВт.}$$

### 1. 3 Лекция №3, 4 (4 часа).

**Тема:** «Теоретические основы дробление материалов»

#### 1.3.1 Вопросы лекции:

1. Теории дробления материалов и их энергетическая оценка
2. Графическое изображение процесса удара методом акад. В.П. Горячкина

3. Необходимая для разрушения материала скорость удара
4. КПД дробильной машины
5. Выбор точки подвеса молотка

### 1.3.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Теории дробления материалов и их энергетическая оценка

Теория измельчения (дробления) твердых тел в общем виде рассматривает два комплекса основных вопросов. Во-первых, она изучает функциональные зависимости между затратой энергии или механической работы на процесс измельчения материалов и результатами этого процесса, т.е. степенью измельчения. Это дает возможность выявить эффективность рабочего процесса в зависимости от принятой конструкции и правильности выбранных режимов её работы. Во-вторых, она изучает основные закономерности в распределении частиц по их размерам с целью отыскания простых и надёжных методов определения средних частиц, площади их удельной поверхности и численных значений степени измельчения.

Всякая теория ставит своей целью раскрыть сущность того или иного процесса или явления, дать им качественную и количественную оценку, определить наиболее оптимальные условия их протекания.

Для определения работы дробления были предложены две теории, объясняющие расход энергии на процесс – *поверхностная* и *объёмная*.

Автором поверхностной теории является немецкий ученый П. Риттингер (1867 г.). В соответствии с этой теорией работа, необходимая для дробления, прямо пропорциональна вновь образованной поверхности, т.е.  $A_y = f(\Delta S) = a\Delta S$ , где  $a$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий величину энергии поверхностного натяжения;  $\Delta S$  – приращение удельной поверхности твёрдого тела.

Последующие исследования показали, что эта теория более справедлива для тонкого измельчения материалов. При крупном – процесс дробления не подчиняется этому закону.

В связи с этим русский ученый В.Л. Кирпичев в 1874 г., а затем немецкий ученый Ф.Кик в 1885 г. предложили объёмную теорию дробления. Они установили что работа, затраченная на измельчение тела, прямо пропорциональна объёму или массе разрушаемого тела, т.е.

$$A_v = f(V) = f_1(M) = k\Delta V = k_1\Delta M,$$

где  $k, k_1$  – коэффициенты пропорциональности;

$\Delta M$  – часть деформируемого объёма или массы тела.

Однако объёмная теория не объясняет закономерности при тонком измельчении материалов.

П.А. Ребиндер в 1928 г. предложил объединить обе теории и оценивать работу измельчения формулой

$$A = A_y + C \frac{\sigma^2 M}{2E} + A_s \Delta S k,$$

где  $A_y$  – энергия, расходуемая на процессы деформации и образование продуктов измельчения;

$C$  – число циклов деформации частиц измельчаемого продукта;

$\sigma$  – разрушающее напряжение измельчаемого продукта;

$V$  – объём разрушаемого продукта;

$E$  – модуль упругости измельчаемого продукта;

$A_s$  – энергия, расходуемая на образование  $1\text{см}^2$  новой поверхности для данного продукта;

$\Delta S$  – вновь образованная поверхность;

$R$  – безразмерный множитель.

Это уравнение учитывает положение как поверхностной, так и объёмной теории и является основным законом измельчения: полная работа измельчения равна сумме работ на образование новых поверхностей и на деформацию в объёме разрушаемого тела.

Однако полученные выражения не могут быть использованы при количественных расчетах из-за неизвестных коэффициентов пропорциональности  $a$  и  $k$ . Эти выражения используют для качественной оценки рабочих процессов и сравнительных расчетов, по ним получают относительное значение величины работы, затрачиваемой на измельчение. Абсолютное значение работы измельчения по ним определить невозможно, так как она не увязана со степенью измельчения.

В 1952 г. С.В. Мельников предложил приближенную рабочую формулу для определения количественных расчетов, увязав расход работы со степенью измельчения:

$$A_{\text{изм}} = c_1 10^3 \lambda^3 + c_2 (1 - C_{np})$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – постоянные коэффициенты, учитывающие удельные затраты энергии и имеющие размерность работы (Дж/кг), определяемые опытным путём,

$C_{np}$  – безразмерный коэффициент, отражающий влияние не учтенных факторов.

По этой формуле можно рассчитать энергозатраты на измельчение не только зерновых, но и стебельных кормов, измельчаемых молотковыми и ножевыми рабочими органами.

## 2. Графическое изображение энергетических закономерностей процесса удара методом В.П. Горячкина

Для изучения рабочего процесса дробильных машин, например, такой распространенной на животноводческих фермах машины, как молотковая дробилка, представляет интерес данное В.П. Горячкиным графическое изображение закономерностей процесса удара, связанного с разрушением тела. Пусть раздробляемый кусок, имеющий скорость, равную нулю, встречает какой либо рабочий орган дробящего устройства, например, шарнирно подвешенный молоток. Введём следующие обозначения:

$\Delta\mu$  – масса куска;

$m$  – масса молотка;

$v_k$  – конечная скорость удара;

$v_o$  – начальная скорость молотка;

$A_0$  – полная энергия (первоначальная кинетическая энергия молотка);

$A_2$  – энергия, затраченная на разрушение (энергия деформации);

$A_1$  – кинетическая энергия, приобретённая в конце удара куском;

$A_3$  – кинетическая энергия, сохранённая к концу удара молотком;

$A$  – полная работа.

При ударе молотка по куску, молоток уменьшает свою скорость до  $v_k$ , а раздробляемый кусок приобретает эту скорость (если удар не упругий и коэффициент восстановления равен 0). Величина толчка или импульса:

$$P\Delta t = m(v_o - v_k) = \Delta\mu v_k.$$

Величину конечной скорости  $v_k$  предопределяет при прочих постоянных условиях величина массы куска  $\Delta\mu$ . Если, как это имеет место, например, для молотковой дробилки,  $m$  и  $v_o$  можно принять за величины заданные и постоянные, то уравнение, представленное как

$$v_k = \frac{v_o}{1 + \frac{\Delta\mu}{m}}$$

при переменных  $v_k$  и  $\Delta\mu$  есть уравнение неравносторонней гиперболы. График (рис. 2) наглядно показывает, при какой массе  $\Delta\mu$  будет получена та или иная конечная скорость  $v_k$ . При  $\Delta\mu = m$  конечная скорость  $v_k = \frac{v_0}{2}$ . Чем масса  $\Delta\mu$  больше, тем конечная скорость  $v_k$  меньше.

Работа деформации представляет собой по закону сохранения энергии разность между первоначальным запасом кинетической энергии молотка и запасом кинетической энергии молотка и куска в конце удара:

$$A_2 = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{(m + \Delta\mu)v_k^2}{2} = \frac{m(v_0 - v_k)v_0}{2} = \frac{\Delta\mu v_0 v_k}{2}.$$

Чем дробь  $\frac{\Delta\mu}{m}$  больше, тем меньше конечная скорость  $v_k$  и тем больше переходящая в работу деформации доля теряемой для движения кинетической энергии.

Полная работа равна сумме:

$$A = A_1 + A_2 = \frac{\Delta\mu v_k^2}{2} + \frac{\Delta\mu v_0 v_k}{2}$$

или

$$A = \frac{m(v_0^2 - v_k^2)}{2},$$

то есть графически полную работу  $A$  в функции  $v_k$  при переменной массе  $\Delta\mu$  определяет парабола, а работу деформации – прямая.

Как это видно из графика (рис. 1), гипербола, парабола и прямая позволяют на основании приведенных выводов удобно изобразить графически закономерности процесса неупругого удара.

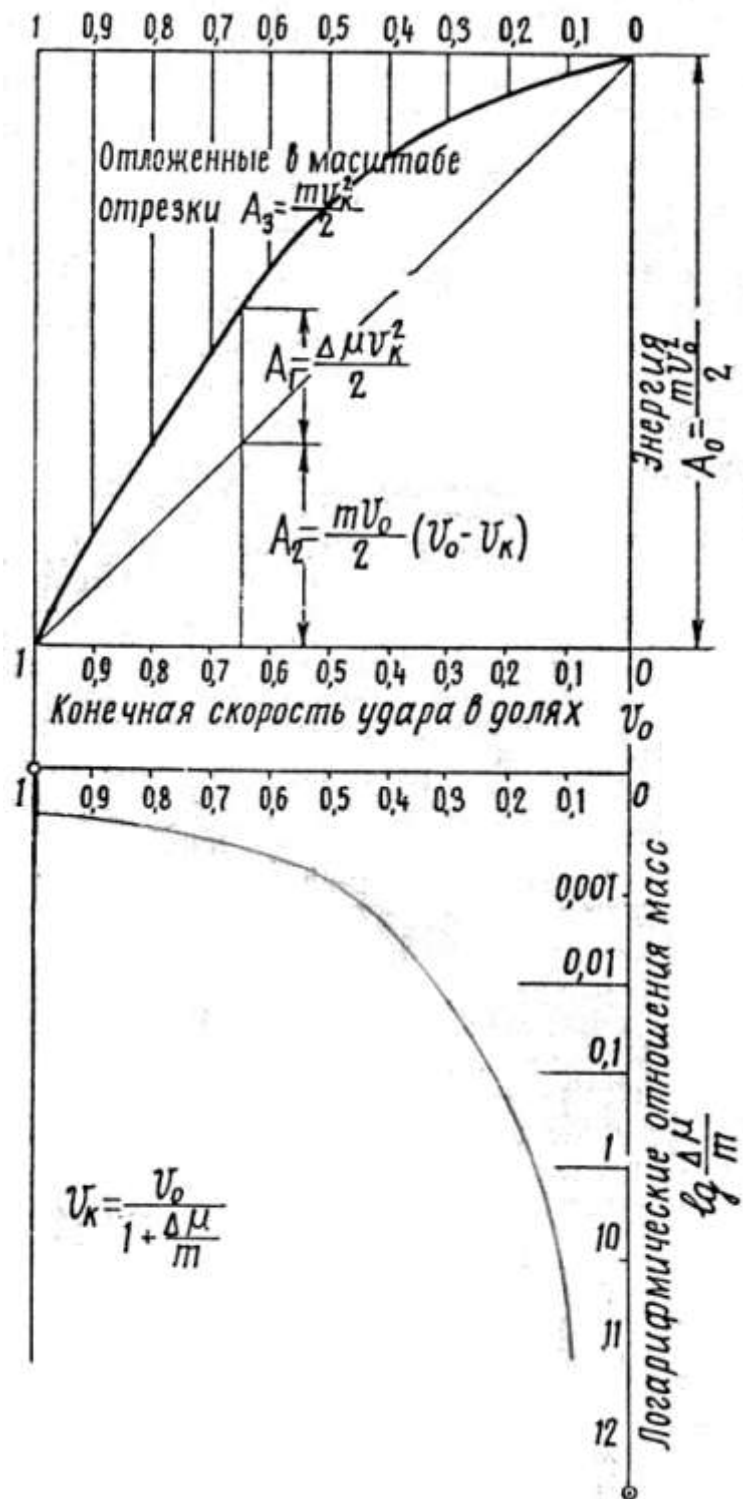


Рисунок 1. Графическое изображение неупругого удара (метод В.П. Горячкина).



Если учитывать упругость, то эта формула примет вид.

$$A_2 = \frac{\left[ \frac{m\Delta\mu}{m + \Delta\mu} \right] (v_0 - v_{II})^2}{2} (1 - \kappa^2),$$

где  $\kappa$  – коэффициент восстановления (меньше 1).

Вместо отношения масс  $\frac{\Delta\mu}{m}$  на графике отложены логарифмы этих отношений, так в данном случае гипербола менее удобна для графического изображения, чем её логарифмическая анаморфоза. В остальном построение графика легко уясняется из чертежа.

График определяет конечную скорость соударения молотка и зерна и все три составляющие полной энергии, то есть даёт графически раздельно энергии молотка, куска и деформации. Этот режим характеризует крайние правые точки оси абсцисс. Крайняя левая – соответствует случаю холостого прохода рабочего органа дробилки.

Промежуточные режимы относятся к различным дробильным машинам. Так, например, молотковые дробилки, работающие на относительно высоких скоростях, располагаются в зоне большей конечной скорости  $v_k$ , а такие машины, как валковые дробилки, шаровые мельницы – правее. Ещё дальше вправо находится зона рабочего режима щековых дробилок.

### 3. Необходимая для разрушения материала скорость удара

Чтобы материал разрушился, удар должен произойти со скоростью, превышающей предельную скорость для упругих деформаций. При ударе со скоростью  $v$  и продолжительностью  $\Delta\tau$  величина упругой деформации равна (см. рис. 2):

$$a = v\Delta\tau.$$

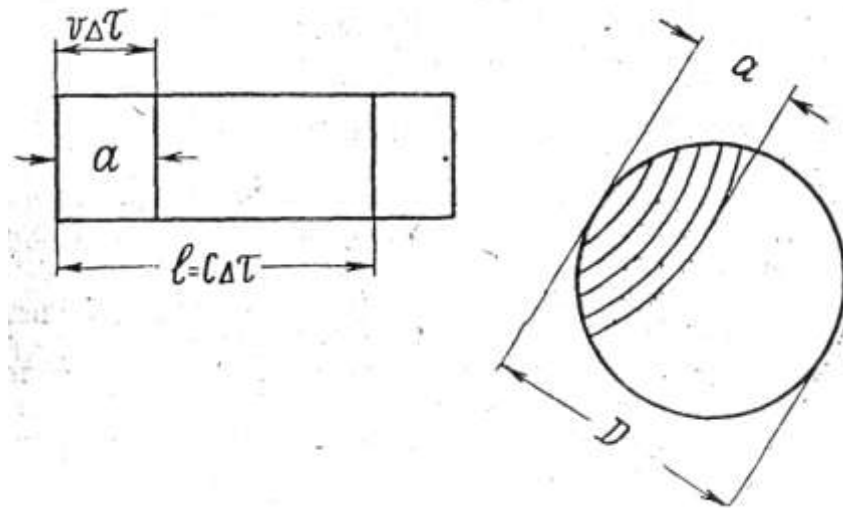


Рисунок 2. К расчету разрушающей скорости удара

На эту величину ударившее тело внедряется в материал, уплотняя его. Колебания распространяются на длину:

$$l = c\Delta\tau,$$

где  $c$  – скорость распространения звука (колебаний):

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

здесь  $E$  – модуль упругости,

$\rho$  – плотность материала.

В соответствии с законом Гука:

$$\sigma = E \frac{\nu\Delta\tau}{c\Delta\tau} = E \frac{a}{l} = E \frac{a}{D},$$

откуда

$$\nu_{разр} = \frac{c\sigma_{разр}}{E} = \frac{\sigma_{разр}}{E} \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Однако, использовать эту формулу для определения конструктивно-режимных параметров, например, молотковой дробилки, крайне затруднительно по следующим причинам:

- раздробляемые частицы неоднородны и имеют сложное строение,
- технологический процесс дробилки также сложен и неопределен,
- удар в дробилке происходит не по отдельной частице, а по слою продукта и частицы воспринимают его в самых различных положениях,
- частицу часто раздробляет не первичный удар, при этом скорость соударения может значительно уменьшаться,
- ударное воздействие молотка сочетается в рабочей камере дробилки с ударами частиц друг о друга, ударами о деку, перетиранием в процессе циркуляции.

Доля участия каждого из этих видов разрушения определить сложно, поэтому окружная скорость молотка  $V_m$ , предопределяющая количество энергии, которая может быть использована для осуществления процесса дробилки

$$V_m = (3 \dots 5) V_{разр} = 40 \dots 80 \text{ м/сек}$$

#### 4. Коэффициент полезного действия (КПД) дробильной машины

При дроблении тел энергия может расходоваться на следующее:

1. образование новых поверхностей, то есть преодоление молекулярных сил сцепления частиц;
2. создание упругих и пластических деформаций в период предразрушения;
3. преодоление внутреннего трения частиц при их разрушении;
4. преодоление внешнего трения между раздробляемыми частицами и рабочими органами дробилки;
5. преодоление трения в подшипниках и других опорах и приводах;
6. преодоление сопротивлений воздуха, расход энергии на вибрацию.

Если полезной считать только ту энергию, которая тратится на преодоление сцепления частиц, и не включать в полезную часть энергию, расходуемую на предварительную деформацию, то КПД дробильной машины определится как отношение полезной части энергии  $A_{пол}$  ко всей затраченной:

$$\eta = \frac{A_{пол}}{\Sigma A}.$$

В результате теоретического подсчета полезной энергии, то есть подсчета идеальной работы измельчения, получаются весьма ничтожные величины. Например, для измельчения глыбы каменной соли объёмом  $1\text{ м}^3$  теоретически требуется полезной работы, затрачиваемой на преодоление сил сцепления частиц менее 0,001 квтч.

Тем не менее, анализ процесса измельчения позволяет заключить, что для повышения КПД необходимо:

- уменьшить работу упругих деформаций за счёт использования измельчающих рабочих органов, работающих по способу измельчения резанием и скалыванием с приложением разрушающего усилия поперек зерна;
- увеличить работу на образование новых поверхностей за счет использования многоступенчатого измельчения, позволяющего получать на каждой ступени измельчения заданный гранулометрический состав и обеспечить своевременный вывод готового продукта из камеры измельчающего устройства;
- конструктивно предусмотреть уменьшение работы на деформацию и изнашивание рабочих органов.

## 5. Выбор точки подвеса молотка (эксцентрический удар)

При работе с ручными инструментами (топором или молотком) вы инстинктивно держите рукоятку молотка или топорика в том месте, где рука не ощущает удар.

В дробилках при шарнирном креплении рабочих молотков их нужно расположить таким образом, чтобы опоры барабана дробилки не испытывали ударных воздействий. Для этого необходимо, чтобы центр качания совпал с шарниром молотка.

Центром качания относительно центра удара называют такую точку, в которой скорость поступательного движения, возникшая **в момент удара**, равна по величине линейной скорости поворота  $\omega s$  (также возникшей в момент удара) и обратна ей по направлению. Эта точка в момент удара остаётся неподвижной или по крайней мере не изменяет своей скорости.

Центр качания не трудно определить аналитически или получить простым геометрическим построением.

Пусть центр удара молотка по раздробляемому куску находится на расстоянии  $\frac{a}{2}$  от центра тяжести  $O$  (рис. 4). Вследствие эксцентрического удара получаем при переносе силы  $P$  в центр тяжести  $O$ , кроме силы, приложенной в центре тяжести и сообщающей массе молотка поступательное движение, ещё пару сил с моментом  $PS$ .

$$P\Delta t = mv,$$

$$PS\Delta t = J_{\omega} = m\rho_o^2 \omega,$$

где  $J$  - момент инерции молотка относительно оси, проходящей через центр тяжести,

$\rho_o$  – соответствующий радиус инерции,

$\omega$  – угловая скорость (средняя),

$m$  – масса молотка.

Как видно из рис. 4, под действием силы  $P$  молоток движется с поступательной скоростью  $V$ , а под действием момента сил – поворачивается. В точке  $C$  скорость  $V$  равна скорости  $\omega s$  и обратна ей по направлению.

$$-V = f\omega s$$

Эта точка и есть центр качания молотка. Она удовлетворяет условию:

$$SS_I = \rho_o^2,$$

что прямо следует из выше представленных формул.

Пользуясь этим соотношением, центр качания находят графически, восстановив в центре тяжести в принятом линейном масштабе перпендикуляр высотой  $\rho_0$  и соединив  $A$  с  $B$ . Перпендикуляр к линии  $AB$  в точке  $B$  определит центр качания в точке  $C$  (см. рис. 4).

Момент инерции прямоугольного параллелепипеда относительно оси, проходящей через центр тяжести равен:

$$m \frac{a^2 + b^2}{12}.$$

Следовательно, радиус инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести молотка прямоугольной формы, если пренебречь отверстием, равен (см. рис. 4):

$$\rho_0 = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{12}},$$

где  $a$  – длина;  
 $b$  – ширина молотка.

Если  $S_l$  – расстояние от оси подвеса (шарнира) до центра тяжести, а  $S = \frac{a}{2}$  – расстояние от центра тяжести до центра удара, то:

$$\rho_0^2 = SS_1 = \frac{a}{2} S = \frac{a^2 + b^2}{12} \text{ или } S_1 = \frac{a^2 + b^2}{6a}.$$

Следовательно, ударные реактивные силы не будут практически передаваться на опоры, если расстояние от центра шарнира прямоугольного молотка до центра тяжести сделать равным сумме квадратов двух линейных измерений молотка (длины и ширины), разделённой на шестикратную его длину.

Некоторые молотки имеют второе отверстие с целью повторного использования после износа. В этом случае расчетную формулу необходимо соответственно изменить.

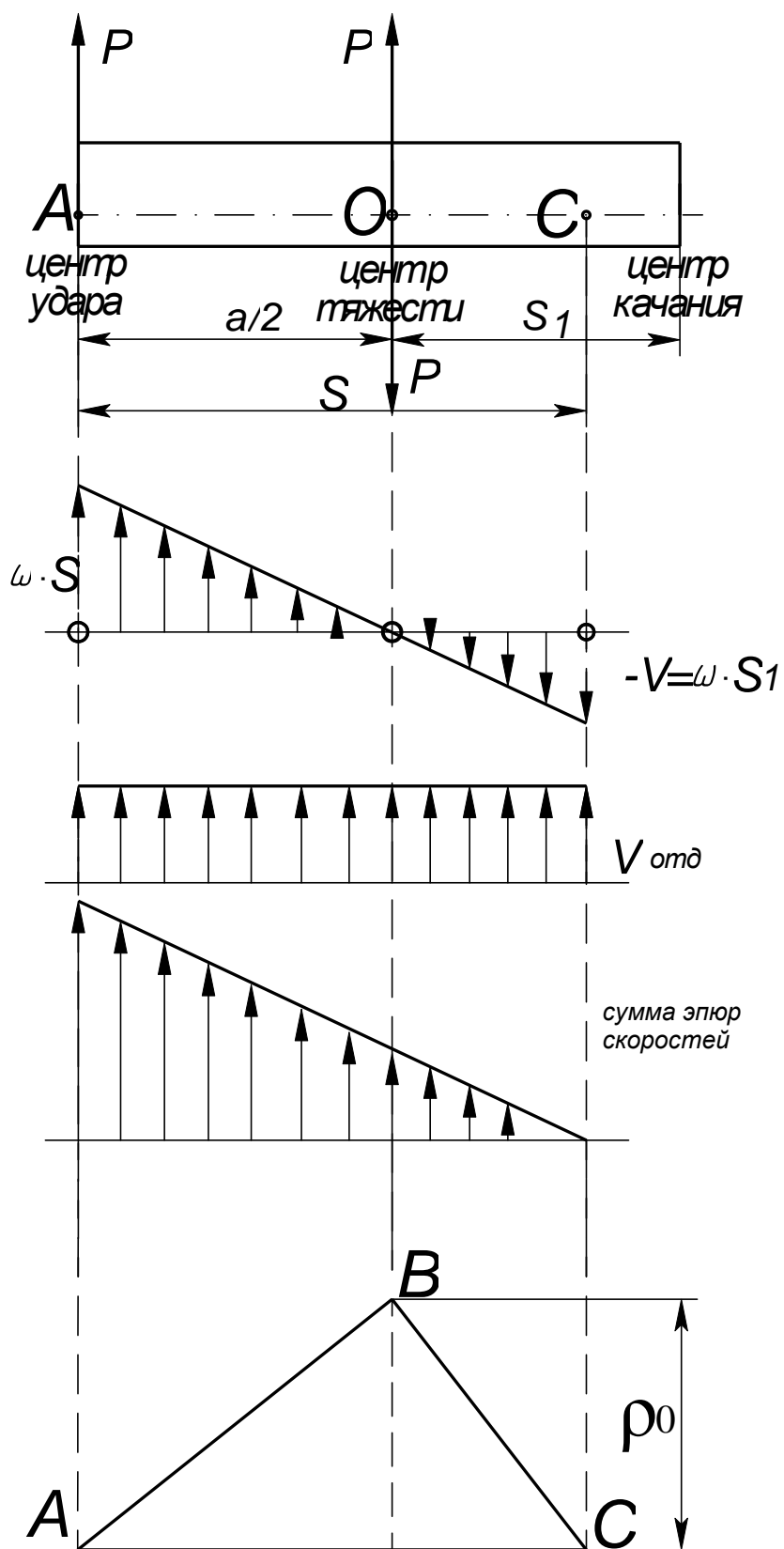


Рис. 3 - Эпюры нагружения рабочего органа молотковой дробилки и выбор точки подвеса молотка

## **1. 5 Лекция №5 (2 часа).**

**Тема:** «Функционально технологическая схема доильных установок с молокопроводом. Техническое обслуживание молочного оборудования»

### **1.5.1 Вопросы лекции:**

1. Доильные аппараты, классификация, характеристика
2. Доильные агрегаты и установки
3. Техническое обслуживание молочного оборудования

### **1.5.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Доильная машина - уникальная и единственная в своем роде. Никакая другая машина не воздействует непосредственно на живой объект, подобным образом. Доильная машина ежедневно 2-3 раза в сутки на протяжении всей жизни коровы, за исключением нескольких непродолжительных периодов, воздействует на живой объект - молочную железу - возбуждая цепь нейро-гуморальных процессов и оказывая огромное влияние на весь организм животного, практически все его органы и системы. Эта машина оказывает непосредственное влияние на здоровье животного. При правильном использовании она стимулирует и развивает молочную железу и оказывает благоприятное влияние на здоровье коровы, а при всевозможных нарушениях режима работы оказывает резко отрицательное влияние на организм и является источником повышенной опасности для здоровья животного. Неисправный доильный аппарат и неумелое его использование способны загубить любое прекрасное породистое животное с высокой продуктивностью и довести его до отправки на мясокомбинат, и наоборот, умелое использование и четкое соблюдение технологии машинного доения часто способствует повышению молочной продуктивности и развитию ценных хозяйственных качеств животных.

В связи с этим, важно не ошибиться в выборе доильной машины и четко выполнить правила ее эксплуатации и технологию машинного доения.

История изобретения доильных аппаратов насчитывает более 150 лет. За это время было создано множество самых разнообразных конструкций, которые продолжают создаваться и совершенствоваться и в настоящее время.

Так, за последние десять лет в нашей стране и за рубежом созданы доильные аппараты с трехкамерными доильными стаканами, с различными стимуляторами, с автоматическими устройствами для изменения рабочего вакуума. Появились доильные аппараты с переменным режимом работы во время доения. Разработаны аппараты с механическим управлением процесса, аппараты с автоматическим додаиванием и отключением после работы, схемы с авторегулировкой процесса.

В нашей стране имеется много опытных и серийных доильных аппаратов «Волга», «Стимул», «Доярка», «Темп», «Майга», АДУ. Они отличаются друг от друга по технологическим показателям и конструктивным особенностям.

Несмотря на многообразие доильных аппаратов, их можно классифицировать по следующим основным конструктивным признакам:

1. По количеству тактов: двухтактные, трехтактные, непрерывного отсоса;
2. По конструкции исполнительного механизма (доильных стаканов): однокамерные, двухкамерные, трехкамерные;
3. По одновременности работы доильных стаканов: с одновременно работающими, с попарно работающими;
4. По конструкции сосковой резины: с цилиндрической, конической, гофрированной, предварительно сплюсненной формой, совместно с молочной трубкой,

отдельно от молочной трубки;

5. По стимуляции животного: со стимуляторами (термическими, механическими), без стимуляторов;

6. По конструкции пульсатора: поршневой, мембранный, шариковый, электромагнитный;

7. По конструкции коллектора: двухкамерный, трехкамерный, четырехкамерный.

Кроме того, существующие доильные аппараты оборудованы смотровыми устройствами различных конструкций, отличаются друг от друга по массе и размерам основных составных частей.

Очень часто доильные аппараты одной и той же конструкции снабжены различной сосковой резиной. В настоящее время разработано несколько десятков типоразмеров сосковой резины, каждый из которых имеет свои преимущества.

Некоторые конструкции аппаратов основаны на принципе выжимания молока из соска за счет избыточного давления, подаваемого в отдельные камеры доильного стакана.

Такое разнообразие конструкций доильных аппаратов обусловлено стремлением создать идеальный доильный аппарат, который обладал бы высокой производительностью и одновременно не наносил бы ущерба здоровью животного. Однако эффективность доения даже при наличии ее совершенного доильного аппарата, может быть достигнута лишь тогда, когда все звенья системы человек-машина-животное будут работать в полном взаимодействии друг с другом. Нарушение режима работы хотя бы одного из звеньев системы ведет к значительному снижению эффективности всей системы.

В Оренбургской области наибольшее распространение получили доильные аппараты АДУ-1 двух и трехтактного исполнения с двухкамерными доильными стаканами, мембранными пульсаторами и двухкамерными или четырехкамерными (в зависимости от количества, тактов) коллекторами. Кроме того все больше начинают использоваться зарубежного производства доильные аппараты – SAC, ALFA-AGRI и другие.

Двухтактный доильный аппарат АДУ-1 имеет 80 пульсов в минуту и затрачивают на доение одной корова примерно на 25 % времени меньше, чем ранее выпускаемые трехтактные «Волга».

В двухтактных доильных аппаратах в течение всего времени доения под соском создается вакуум (цикл работы состоит из тактов сосания и сжатия), величина вакуума примерно в 1,6-2 раза выше, чем при сосании теленком. Это создает опасность повреждения тканей внутреннего канала соска при так называемом «сухом доении», когда четверть вымени уже выдоена, стаканы еще не сняты, что приводит к повреждению нежных тканей соска. Допустимое время «сухого доения» двухтактным доильным аппаратом - 1 минута. По истечении 1 минуты ткани повреждаются.

В трехтактном доильном аппарате цикл работы состоит из тактов сосания, сжатия и отдыха. В тактах сосания и сжатия под соском - вакуум, в такте отдыха под сосок подается воздух, при этом ткани соска отдыхают от вредного воздействия вакуума и в них восстанавливается нарушенное кровообращение. Однако выпуск воздуха под сосок не всегда является благоприятным. У высокоудойных коров за такты сосания и сжатия молоко не успевает удалиться из подсосковой камеры и во время выпуска воздуха возникает обратный ток молока из коллектора, при котором может возникнуть перекрестное инфицирование четвертой вымени. У средне- и низкоудойных коров во время такта «отдых» в канал соска проникает воздух, который разрушает оболочку жировых шариков, находящихся в молоке. При этом шарики сливаются между собой и образуют более крупные шарики, это ухудшает условия удаления молочного жира из вымени и жирность удоя уменьшается.

В связи с этим, двухтактные доильные аппараты рекомендуется использовать в высокопродуктивных стадах с хорошей подобранностью коров к машинному доению. При работе с двухтактными доильными аппаратами обслуживающий персонал должен быть

высококвалифицированным.

Трехтактные доильные машины применяют преимущественно в стадах, недостаточно отселекционированных по форме вымени, развитию сосков и скорости молокоотдачи, а также при недостаточной подготовленности обслуживающего персонала.

## 2. Доильные агрегаты и установки

Несмотря на довольно большое разнообразие марок и типов доильных установок, все они имеют общую технологическую схему доения и первичной обработки молока, состоящую из трех линий: вакуумной, молочной и водяной.

*Вакуумная с линия* включает в себя вакуумный насос, магистральный трубопровод (к которому подсоединяются доильные стаканы и молокопровод) и комплект контрольного оборудования.

*Молочная линия* состоит из молокопровода, транспортирующего молоко из коровника или доильной площадки в молочное отделение, механизмов для первичной обработки молока и танка.

*Водяная линия* предназначена для подачи теплой воды к вымени, мойки и дезинфекции. Состоит из бачка-смесителя, трубопровода и разбрызгивателей. В качестве подогревателя воды в водяной линии может быть использован котел-парообразователь или электрический водонагреватель.

В зависимости от поголовья молочного стада, условий работы, обеспеченности электрической энергией и других факторов, машины и механизмы, устанавливаемые в единой технологической поточной линии по получению и первичной обработке молока, могут иметь различные схемы и производительность. Тем не менее, основные механизмы (вакуумные насосы с контрольным оборудованием, магистральный вакуумопровод, с внутренним диаметром 1 или 1,5 дюйма, стальной или стеклянный молокопровод, доильные аппараты, электроподогреватели, молочные холодильные установки, молокосорбные танки), используемые на доильных установках, унифицированы.

Для машинного доения коров в настоящее время выпускаются различные типы доильных установок, которые различаются по производительности, организации труда операторов и технико-экономическим показателям. Их можно разделить на два основных класса:

1. Установки для доения коров в стойлах
2. Агрегаты для доения коров в специальных доильных залах и на пастбищах.



К первой группе относятся линейные доильные агрегаты и поточно -конвейерные установки. Они применяются при привязном содержании, когда каждая корова имеет свое определенное стойло, где и проводится машинное доение. На линейных доильных установках доильные аппараты перемещают, а коровы стоят неподвижно на привязи в стойлах.

Сущность поточно-конвейерного обслуживания молочного скота заключается в



том, что коровы, располагаясь рядами на подвижной платформе, в период кормления и доения передвигаются по замкнутому контуру синхронно с транспортером, образуя живой самоходный конвейер. В одном из торцов коровника или любом другом месте располагается доильная площадка, где оборудуются два рабочих места операторов машинного доения. На первом оператор проводит подготовительные операции и подключает доильные аппараты. После подключения последнего аппарата оператор переходит на второе рабочее место, где проводит заключительные операции и снимает доильный аппарат. Затем переходит на первое рабочее место для подготовки к доению следующей коровы.

На установках второго типа осуществляется доение коров в специально оборудованных станках, расположенных в доильном зале или на пастбище. В зависимости от типа доильных станков различают установки: с параллельным расположением станков - установки типа «тандем, проходные, установки – «елочка» и конвейерно-кольцевые - установки типа «карусель».

Доильные установки с параллельным расположением животных получили название «параллельно-проходные». К таким установкам относятся УДМ-8, УДС-3Б.

На установках типа «тандем» индивидуальные станки располагают последовательно по периметру траншеи, в которой работают операторы машинного доения (УДТ-6, УДТ -3). Повышение производительности при последовательном расположении индивидуальных станков объясняется более рациональной организацией труда операторов. При оснащении доильных установок манипуляторами и автоматами управления (УДА-3А) количество операторов, обслуживающих станки, сокращается до одного, а производительность возрастает в два раза.

Широкое распространение в настоящее время получили установки с групповыми доильными станками. Применение групповых станков для доения животных позволяет увеличить производительность труда до 35 - 40 коров в час, а при наличии манипуляторов и автоматов управления до 70-75 коров в час (УДА-16А).

Конвейерно-кольцевые установки типа «карусель» представляют собой вращающиеся на кольцевой платформе доильные станки. Платформа поворачивается с небольшой скоростью (1 оборот за 9-10 минут) непрерывно или с остановками для захода и выхода коров. Коровы заходят в станки и выходят по очереди через равные промежутки времени.

В настоящее время в различных странах выпускаются следующие виды "карусели" отличающиеся типом и количеством доильных станков на платформе: «Ротоелочка», «Рототандем», «Тористайл», «Ротолатор». На двух последних установках станки размещены радиально - коровы стоят головами внутрь и выходят в коровник через туннель под платформой.

Как показывает анализ исследований, проведенный в нашей стране и за рубежом, производство молока является сложным и трудоемким процессом в животноводстве. Вопрос выбора технологий производства молока является важным и принципиальным. При его решении необходимо учитывать состояние материально-технической базы, природно-климатические условия, концентрацию поголовья коров и подобранность стада, квалификацию кадров. Для обоснованного использования той или иной доильной установки определяющим является способ содержания животных.

В настоящее время большинство коров содержится на привязи. При этом возможно применение доильных установок как первого так и второго типа. Наибольшее распространение получили линейные доильные установки с доением в переносные ведра или в молокопровод. Сочетание привязного способа содержания с доением в залах себя не оправдало. Увеличение производительности труда операторов машинного доения компенсируется дополнительными затратами на отвязывание и привязывание коров. Разработанные автоматические привязи в станках с групповым отвязыванием не нашли на практике широкого применения. Значительное повышение производительности труда при стойловом содержании может быть достигнуто за счет использования поточно-конвейерных доильных установок. Этот способ следует считать перспективным для ферм с привязным содержанием коров.

В последние годы широкое распространение получил беспривязный способ содержания, позволяющий значительно сократить затраты труда, благодаря экономии их в основном на уборке навоза. Здесь доение коров осуществляется на установках второго типа. К преимуществам доения коров в доильных залах относятся высокая производительность и культура труда. Кроме того, расположение доильных установок в отдельных помещениях способствует повышению санитарно-технических свойств молока, значительно улучшая условия работы животноводов, приближая их труд к промышленному.

Следующим важным моментом выбора доильной установки является продуктивность и подобранность стада. Доильные установки с групповыми станками типа «елочка», «тандем» с проходными станками и «карусели» применяются на фермах с хорошо подобранным стадом по времени доения. Применение этих установок на ферме, где содержатся коровы разнородных групп, возможно при использовании автоматов доения (УДА-8А, УДА-16А). Однако, как показывают исследования, их применение оправдано при продуктивности коров свыше 4,5 тыс. кг. В настоящее время разрабатываются и испытываются автоматические доильные установки, на которых все ручные операции, в том числе надевание доильных стаканов, проводятся автоматически. По мнению ряда исследователей, их использование будет экономически выгодно при годовых удоях свыше 10 тыс. кг на одну корову.

На современной ферме животное находится в многогранных связях с внешней средой и подвергается воздействиям различных раздражителей. Коровы с низкой стрессоустойчивостью плохо приспособляются к жесткой технологии и непригодны для ферм промышленного типа. Однако они могут давать высокие надои при использовании их на традиционной технологии содержания.

В зависимости от вида воздействия оператора и коровы в процессе доения различают индивидуальный, обезличенный и групповой подход к животному.

Первый применяется на племенных фермах, а также при работе с высокопродуктивными животными, обладающими устойчивостью к стрессовым воздействиям. Индивидуальный подход к животным осуществляется на установках первого типа для доения в стойлах, а также на пастбищных установках в летнее время года, когда за оператором закреплена постоянная группа коров. Это позволяет лучше приспособиться к характеру животного и его функциональным особенностям, возбуждать полноценных рефлекс молокоотдачи, полнее выдаивать корову это объясняется наличием у обслуживающего персонала постоянной информации о животном, его возрасте, массе, количестве отелов и ежесуточной продуктивности, времени последнего и предпоследнего отелов, сроках проведения зооветеринарных работ и т.д.

Обезличенное взаимодействие оператора с животным наблюдается при доении в индивидуальных станках (установки УДТ-6, УДТ-8, УДС-3А). Здесь оператор не имеет постоянной группы коров и его воздействие на животное осуществляется на основании полученной им оперативной информации о процессе молоковыведения. При оснащении доильных станков манипуляторами и автоматами управления частично эти функции выполняет автоматика. Обезличенное взаимодействие оператора с животным осуществляется на крупных механизированных фермах с неподбранным стадом. Групповой вид взаимодействия оператора и животного применяется на доильных установках с групповыми станками (УДЕ-8А, «тандем» с проходными станками, «карусель») не оснащенных автоматами управления. При таком взаимодействии необходима унификация коров, так как время, затраченное на ручные операции и машинное доение, одинаково для всех животных. Доильные установки с групповыми станками отличаются большой производительностью и позволяют добиться хороших результатов при использовании животных с высокой и средней стрессоустойчивостью, подобранных в группы по времени доения.

## 1. 6 Лекция №6 (2 часа).

**Тема:** «Общее устройство и определение энергетических показателей доильного оборудования»

### 1.6.1 Вопросы лекции:

1. Элементы расчета молочной линии доильных установок
2. Расчет линии охлаждения молока
3. Расчет оросительного противоточного охладителя

### 1.6.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1.Элементы расчета молочной линии доильных установок

В соответствии с ГОСТ Р 52054-2003, молоко должно быть обработано в самое кратчайшее время (например, по этому ГОСТу охлаждение молока до температуры  $(4\pm 2)^\circ\text{C}$  должно быть проведено не позднее 2 часов после дойки).

Технология обработки молока на фермах включает в себя следующие операции – очистку, охлаждение и в случае необходимости пастеризацию. Кроме того часть молока может быть подвергнута сепарированию.

Расчет молочной линии начинают с определения **производительности доильной установки**.

Основная величина при определении этой производительности – время ручных работ  $t_p$ , затрачиваемое оператором машинного доения на каждое животное.

Это время складывается из основных подготовительно-заключительных операций  $t_{осн}$  (подмывание вымени, сдаивание первых струек молока, машинное додаивание, обработка сосков после доения, надевание и снятие стаканов с сосков вымени), вспомогательных операций  $t_{всп}$  (подключение аппарата к магистрали и его отключение и пр.) и транспортных работ  $t_{тр}$  (транспортирование ведер с молоком, горячей водой, переходы от одной коровы к другой).

$$t_p = t_{осн} + t_{всп} + t_{тр}$$

Следует подчеркнуть, что от качества и продолжительности этих работ зависит возбуждение и торможение рефлекса молокоотдачи у животного и, следовательно, количество и качество выдаиваемого молока.

Часовая производительность оператора

$$Q_o = \frac{60}{t_p}$$

Время ручных работ зависит от типа доильной установки и организации труда – на линейных доильных установках она больше (4 – 5 мин), на автоматизированных – меньше (0,5 – 1 мин).

В связи с тем, что время, отведенное на доение группы коров по зоотехническим нормам строго ограничено – 1,5 – 2 часа, количество операторов машинного доения можно рассчитать по формуле

$$Z_o = \frac{m \cdot t_p}{60T}$$

где  $m$  – поголовье животных,

$T$  – общее время доения стада, ч.

Если значение  $Z_o$  получается дробным, его округляют в сторону **увеличения**.

Часовая производительность установки

$$Q_{\partial,y} = Q_o Z_o$$

При доении на установках с переносными ведрами оператор за 1 ч двумя доильными аппаратами может выдоить 14...16 коров, в молокопровод тремя аппаратами – 18...25 коров. На современных доильных установках производительность труда операторов повышается за счет сокращения  $t_p$ . При автоматизации технологических операций, например в случае использования санитарно-подготовительных автоматизированных пунктов, опытные мастера могут обслужить четырьмя-пятью аппаратами 40...50 коров в час.

При работе с большим числом аппаратов, чем положено по расчетам, неизбежны систематические передержки доильных аппаратов на сосках вымени коров. Кроме того, при напряженной работе оператор быстрее устает и некачественно выполняет технологические операции. Поэтому необходимо правильно рассчитать оптимальное число доильных аппаратов, обслуживаемых одним оператором

$$Z_{an} = t_{м.д.} / t_p + 1,$$

где  $t_{м.д.}$  – продолжительность машинного доения коровы аппаратом без заключительного массажа и машинного додаивания (4...5 мин).

Если значение  $Z_{an}$  получается дробным, его округляют в сторону **уменьшения**.

Правильность расчета проверяют по соотношению

$$(Z_o Z_{an})_{расч} \leq (Z_o Z_{an})_{окр}.$$

Если это неравенство не выполняется, увеличивают число операторов.

В заключение подсчитывают число доильных установок ( $Z_{\partial,y}$ ) по общему числу рассчитанных доильных аппаратов

$$Z_{\partial,y} = \frac{(Z_o Z_{an})_{окр}}{Z_{\partial,a}},$$

где  $Z_{\partial,a}$  – число доильных аппаратов, которыми оснащена доильная установка.

Можно посчитать и производительность всей установки

$$Q_{yсм} = Z_o \frac{60}{t_p} = Z_o Q_o$$

Второй этап расчета молочной линии – *определение максимального часового количества молока*  $M$  кг/час, полученного от животных, которые содержатся в коровнике

$$M = \frac{Y \cdot N}{365T(100 - P)} K \text{ кг/час}$$

где  $Y$  – годовой удой от коровы, кг,

$N$  – количество коров, гол.,

$T$  – общее время доек в день, час.,

$P$  – процент сухостойных коров,

$K$  – коэффициент, учитывающий неравномерность поступления молока в зависимости от сезона ( $K = 1,1 - 1,2$ ).

Именно по этой величине, а не по  $M_{ср}$  рассчитывают все аппараты и механизмы молочной линии по очистке, первичной обработке и переработке (сепарированию) молока. При  $M_{ср}$  может возникнуть такая ситуация, при которой количество молока поступающего на обработку, будет больше количества молока, которые смогут переработать аппараты машин и поток будет нарушен. Иными словами расчет линии по максимальной часовой производительности обеспечивает поточность обработки, её своевременность и высокое качество молока.

## 2. Расчет линии охлаждения молока

**Количество холода** для обработки  $M$  молока подсчитывают по известному выражению

$$Q = M \cdot c \cdot (t_{нач} - t_{кон}) \text{ кДж}$$

Здесь необходимо обратить внимание на начальную ( $t_{нач}$ ) и конечную ( $t_{кон}$ ) температуры молока. Искусственный холод, вырабатываемый холодильными установками, используют только во второй (рассольной) секции охладителя. В этой секции циркулирует ледяная вода, имеющая температуру от 0°C до 3-4°C, или рассол, имеющий минусовую температуру. В первой (водяной) применяют воду из скважин или колодцев, поэтому молоко во вторую секцию поступает охлажденным (12-15°C).

Учитывая потери холода в магистралях трубопроводов и в окружающую среду, определим

$$Q_{общ} = (1, 2 \dots 1, 3) Q \text{ кДж}$$

По этой величине подбираем холодильную установку.

Таким образом, температуры молока и охлаждающих агентов могут выглядеть следующим образом:

$$\begin{array}{llll} t_{мн} = 30 \dots 35^\circ\text{C}, & t_{мк} = 12 \dots 18^\circ\text{C}, & \tau = 3; & \text{водяная} \\ t_o = 10 \dots 15^\circ\text{C}, & t_k = 12 \dots 20^\circ\text{C} & & \text{секция} \\ t_{мн} = 12 \dots 18^\circ\text{C}, & t_{мн} = 4 \dots 6^\circ\text{C}, & & \\ t_{ор} = -10 \dots 15^\circ\text{C}, & t_{кр} = -3 \dots 4^\circ\text{C} & \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} & \text{секция ледяной воды (рассольная)} \end{array}$$

Процессы охлаждения свежесыродящего молока, а также охлаждение его при первичной обработке и переработке, являются строго обязательными в технологических линиях молочно-товарных ферм и молокозаводов. Эти процессы осуществляют на аппаратах, называемых охладителями молока.

Современные охладители можно классифицировать по самым разнообразным признакам, среди которых можно отметить:

- профиль рабочей поверхности (трубчатые или пластинчатые),
- относительное направление движения теплообменивающихся сред (противоточные, прямоточные и перекрестные),
- конструкцию (однорядные и многорядные пластинчатые),
- число секций (одно и многосекционные).

Наибольшее распространение сегодня получили пластинчатые, противоточные, многорядные (пакетные) охладители.

При выборе и расчете охладителей исходными данными являются производительность (поверхность охладителя) и температурный режим технологического процесса охлаждения молока.

### 3. Расчет оросительного противоточного охладителя

Рассмотрим схему двухсекционного охладителя (рис. 1). В первой секции охлаждение молока происходит за счет циркулирующей холодной воды, во второй – за счет ледяной воды или рассола, охлажденного до минусовой температуры.

Поскольку  $M$  и  $\tau$  величины переменные, составим дифференциальное уравнение теплового баланса: **количество теплоты, отдаваемое молоком, равно количеству теплоты, проходящей через аппарат** (потери пренебрегаем), то есть

$$- M \cdot c \cdot dt_m = KdF (t_m - t_s) \quad (1)$$

В уравнении (1) аргумент уменьшается, а функция увеличивается, поэтому поставлен знак «-».

Для решения этого уравнения составим уравнение теплового баланса между молоком и водой: количество теплоты, отданное молоком, равно количеству теплоты, полученному водой:

$$M \cdot c \cdot t_m - (t_o + \tau) = nM(t_s - t_o) \quad (2)$$

где  $n = \frac{B}{M}$  – коэффициент кратности расхода воды,

$B$  – количество воды, израсходованной на охлаждение  $M$  молока.

Чтобы решить уравнение (1), нужно найти  $(t_m - t_0)$  и  $dt_m$ . Для этого в уравнении (2) сократим  $M$  и раскроем скобки

$$t_m - c - t_0 c - \tau c = nt_0 - nt_m, \text{ отсюда}$$

$$t_0 = \frac{c(t_m - \tau) + t_0(n - c)}{n} \quad (3)$$

$$\text{а} \quad t_m - t_0 = \frac{(n - c)(t_m - t_0) + c\tau}{n} \quad (4)$$

В этом уравнении  $t_m$  – величина переменная, поэтому можно продифференцировать его относительно  $t_m$ .

$$d \frac{(n - c)(t_m - t_0) + c\tau}{n} = \frac{n - c}{n} dt_m,$$

$$\text{отсюда} \quad dt_m = \frac{n}{n - c} d \frac{(n - c)(t_m - t_0) + c\tau}{n} \quad (5)$$

$$\text{Обозначим} \quad \frac{(n - c)(t_m - t_0) + c\tau}{n} = A,$$

подставим (4) и (5) в (1) и получим

$$\begin{aligned} -M \cdot c \frac{n}{n - c} dA &= K \cdot dF \cdot A \\ -M \cdot c \frac{n}{n - c} \frac{dA}{A} &= K dF. \end{aligned}$$

Проинтегрируем это уравнение

$$-M \cdot c \frac{n}{n - c} \int_{t_m}^{t_0 + \tau} \frac{dA}{A} = K \int_0^F dF \quad (6)$$

Чтобы освободиться от знака «-», нужно поменять пределы интегрирования. Если к тому же учесть, что интеграл  $\int \frac{dx}{x} = \ln x$  является стандартным, то уравнение (6) примет следующий вид

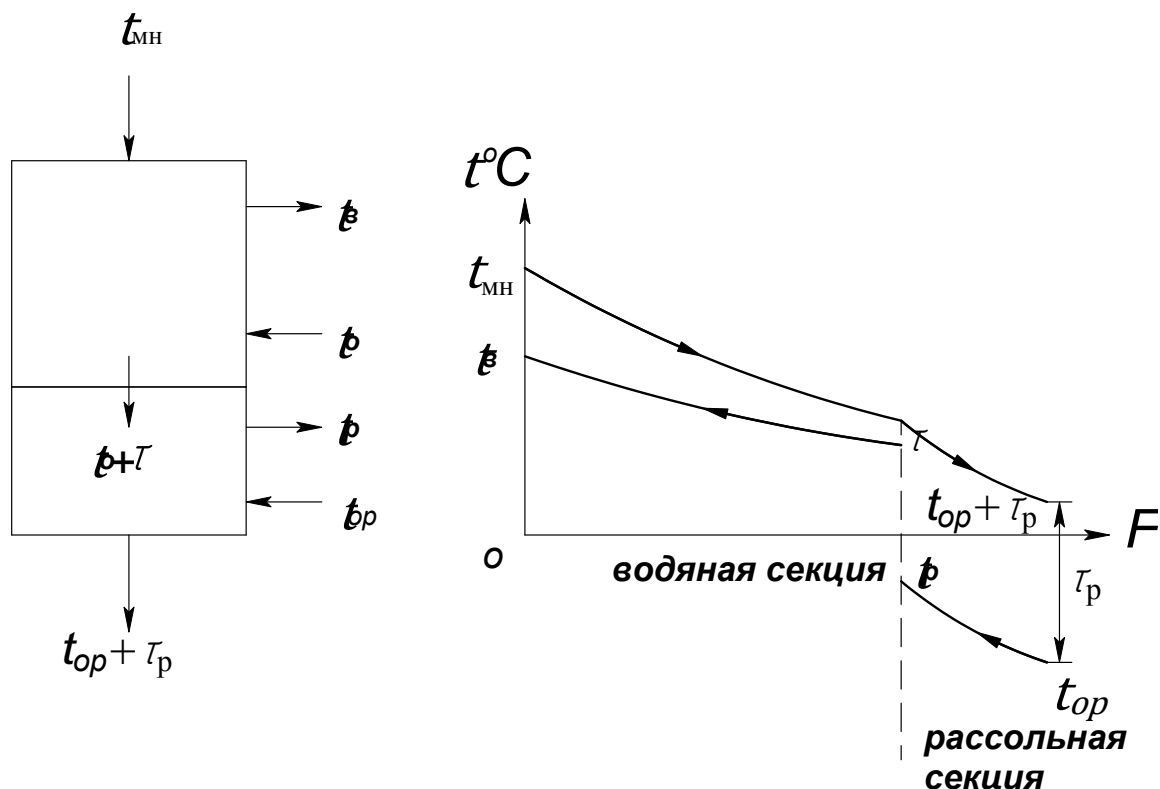


Рис. 1 - Температурная диаграмма двухсекционного охладителя

$$M \cdot c \frac{n}{n-c} \left| \ln \frac{(n-c)(t_M - t_o) + c\tau}{n} \right|_{t_o+\varepsilon}^{t_{MH}} = kF$$

Поставив пределы интегрирования и решив это уравнение, мы можем получить значение  $M$  или  $F$ .

$$F = \frac{M \cdot c}{k} \frac{n}{n-c} 2,3 \lg \frac{(n-c)(t_{MH} - t_o) + c\tau}{n\tau}$$

По этой формуле можно также найти зависимости между другими предельными величинами, например

$$F = f(n) \text{ или } F = f(\tau)$$

Методика расчета **рабочей поверхности рассольной секции охладителя** аналогична методике расчета поверхности водяной секции.

Она так же базируется на дифференциальном уравнении теплового баланса: **количество теплоты, отдаваемое молоком, равно количеству теплоты, проходящей через аппарат** (рассольную секцию охладителя).

При расчете нужно иметь ввиду, что  $c_p = 1,001...0,0776$  в зависимости от содержания соли. Температура замерзания рассола также зависит от содержания соли в рассоле – минимальная температура равна  $-21,2^\circ\text{C}$  при содержании соли 22,4% (почти прямая зависимость).

Аналогично расчету поверхности водяной секции

$$F_p = \frac{M \cdot c}{K_p} \frac{n_p c_p}{n_p c_p - c} \cdot 2,3 \lg \frac{(n_p c_p - c)(t_o + \tau - t_{op}) + c}{n_p c_p \tau_p} \tau_p.$$

При расчете молочной линии следует обратить самое серьезное внимание на тщательность выбора всех параметров этой линии. Каждый из них, начиная от ручных

затрат на выполнение основных технологических операций и кончая временем охлаждения молока, имеют исключительное значение для получения молока высокого санитарного качества.

К сожалению, на наших фермах часто получают молоко, не удовлетворяющее требованиям ГОСТ. По свидетельству директора Российского союза предприятий молочной отрасли В. Лабинова, европейцы вообще не стали бы покупать молоко у наших фермеров.

## 1. 7 Лекция №7 (2 часа).

**Тема:** «Теоретические основы переработки молока»

### 1.7.1 Вопросы лекции:

- 1.Тепловой процесс пастеризатора
- 2.Регенерация (восстановление) тепла
- 3.Молочные сепараторы

### 1.7.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1.Тепловой процесс пастеризатора

Нагревание жидкостей (вина) с целью уничтожения микроорганизмов впервые применил выдающийся французский ученый Луи Пастер (1822 – 1895гг.). Процесс (его называли пастеризацией) оказался настолько действенным, что его стали применять и для обработки других жидкостей, в частности молока.

Для пастеризации молока используют самые разнообразные аппараты (их называют пастеризаторами), тепловой процесс которых показан на рис. 1.

Молоко на обработку поступает тонким слоем и нагревается до температуры 80...90°C.

Теплопотери в пастеризаторе стараются снизить за счет различных конструктивных усовершенствований, в частности, применяют профильные тонкостенные пластины из материалов, обладающих большой теплопередачей. Это позволяет снизить массу аппарата, создаёт турбулентный поток молока, повышает прочность пастеризатора, в который молоко и теплоноситель (пар) поступают по давлению.

В процессе работы температура молока увеличивается от  $t_{нач}$  до  $t_{кон}$  (температура пастеризации). Пар непрерывно подается в аппарат, нагревает молоко, конденсируется и выводится наружу.

Аналогично расчету охладителя, составим дифференциальное уравнение теплового баланса: **количество теплоты, получаемое молоком, равно количеству теплоты, проходящему через пастеризатор**

$$M \cdot c \, dt = KdF (t_{пара} - t) \quad (1)$$

где  $t_{пара}$  – температура теплоносителя (пара), который непрерывно поступает в пастеризатор,



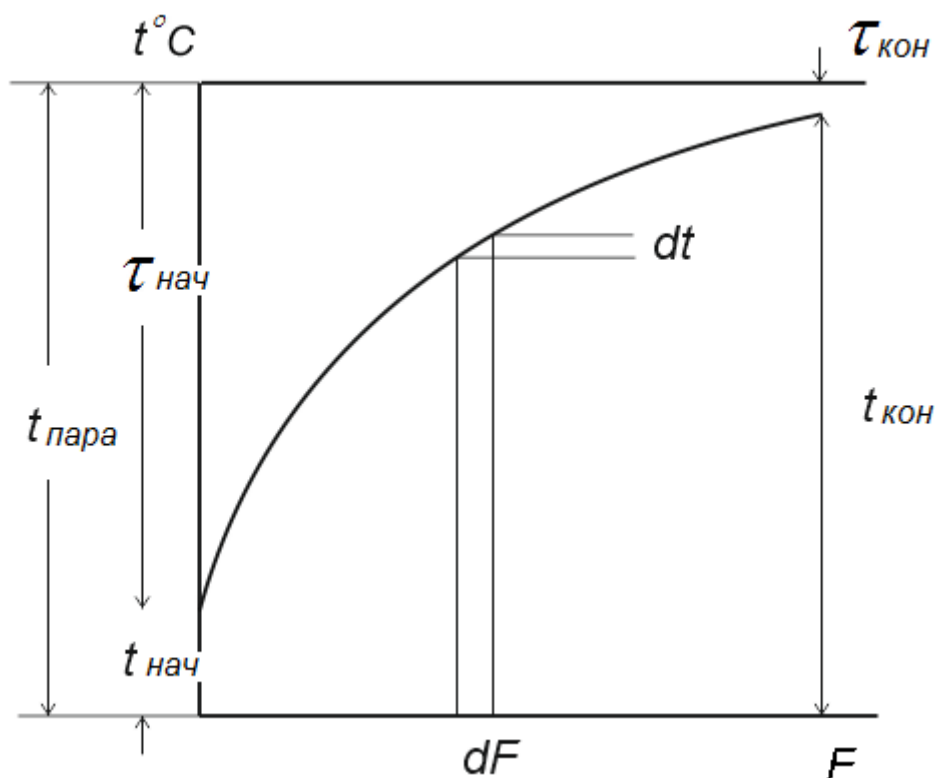


Рисунок 1 – Тепловой процесс пастеризации

$t$  – температура молока,

$K$  – коэффициент теплопередачи (для упрощения расчетов примем  $K = \text{const}$ ).

$$M \cdot c \frac{dt}{t_{\text{пара}} - t} = k dF$$

Проинтегрируем это выражение

$$M \cdot c \int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{кон}}} \frac{dt}{t_{\text{пара}} - t} = k \int_0^F dF \quad (2)$$

Поскольку  $d(t_{\text{пара}} - t) = -dt$ , а  $\int \frac{-dt}{t_{\text{пара}} - t} = \ln(t_{\text{пара}} - t)$ , приведем выражение (2) к

этому же виду, тогда

$$-M \cdot c \int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{кон}}} \frac{dt}{t_{\text{пара}} - t} = k \int_0^F dF$$

Чтобы избавиться от знака «-» перед уравнением, поменяем пределы интегрирования

$$M \cdot c \left| \ln(t_{\text{пара}} - t) \right|_{t_{\text{кон}}}^{t_{\text{нач}}} = kF$$

Окончательно

$$M \cdot c \ln \frac{t_{\text{пара}} - t_{\text{нач}}}{t_{\text{пара}} - t_{\text{кон}}} = kF$$

Откуда 
$$F = \frac{M \cdot c}{k} 2,3 \lg \frac{t_{\text{пара}} - t_{\text{нач}}}{t_{\text{пара}} - t_{\text{кон}}} \quad (3)$$

Температура пара выбирается в зависимости от его давления.

Расход пара  $\Pi$  на пастеризацию молока определяют по формуле

$$\Pi = \frac{M \cdot c(t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})}{(i_{\Pi} - i_{\kappa})\eta_{\Pi}}$$

где  $i_{\Pi}$  и  $i_{\kappa}$  – теплосодержание пара и конденсата,  
 $\eta_{\Pi}$  – тепловой КПД пастеризатора.

## 2.Регенерация (восстановление) тепла

Во время первичной обработки молоко подвергают охлаждению и пастеризации, при этом расходуется большое количество энергии на работу холодильных установок и на нагревание молока при его пастеризации.

Чтобы уменьшить затраты энергии, применяют специальные аппараты регенераторы, в которых встречаются два потока молока – холодный и горячий (рис. 2).

Расчет регенератора сводится к определению его рабочей поверхности

$$F_{\text{рег}} = \frac{M \cdot cE}{K_{\text{рег}}(1 - E)}$$

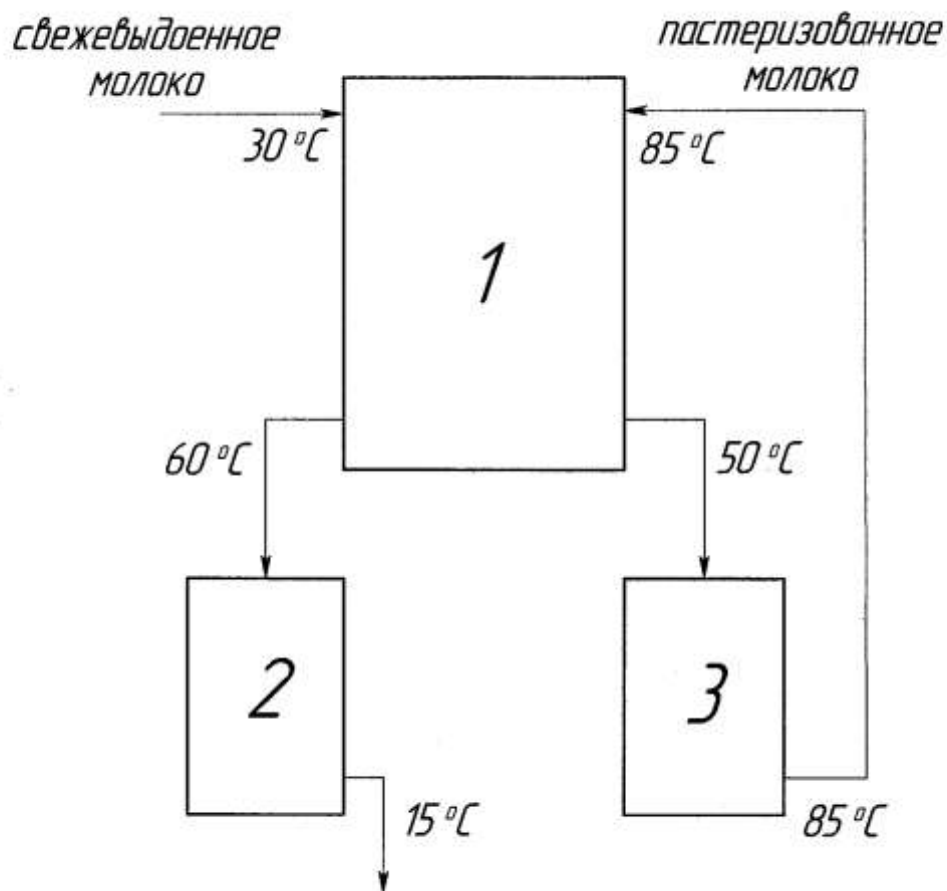


Рис. 2 Схема включения прямоточного регенератора в молочную линию: 1 – регенератор, 2 – охладитель, 3 – пастеризатор.

где  $E$  – коэффициент регенерации тепла, равный 0,6...0,7.

Разность температур процесса можно посчитать по формуле

$$t_{рег} = (1 - E)(t_{наст} - t_{рег}),$$

$$а \quad E = \frac{M \cdot c (t_{рег} - t_{нач})}{M \cdot c t_{наст} - t_{нач}} = \frac{t_{рег} - t_{нач}}{t_{наст} - t_{нач}}$$

Регенератор, смонтированный в технологической линии первичной обработки молока, экономит следующее количество тепла

$$Q_{эк} = M \cdot c \tau_{рег} \text{ кДж/час}$$

### 3. Молочные сепараторы

Сущность разделения молока заключается в том, что вследствие разницы плотностей молочного жира и так называемой молочной плазмы (т.е. обраты), происходит всплывание жировых частиц. Эта разница составляет 0,11 г/см<sup>3</sup> (плотность жира 0,92 г/см<sup>3</sup>, а плазмы – 1,03 г/см<sup>3</sup>). Именно за счет этого происходит отстаивание молока в естественных условиях, но это процесс, требующий длительного времени (около суток). В этом случае жировые шарики всплывают со скоростью

$$V_c = \frac{2}{9} g \frac{\sigma_n - \sigma_{жс}}{\eta} r^2 \text{ (формула Стокса),}$$

где  $g$  – ускорение свободного падения тела м/сек<sup>2</sup>,

$\sigma_{пл}$  – плотность плазмы (обраты),

$\sigma_{жс}$  – плотность жира,

$r$  – радиус жирового шарика ( $r = 1,5 \dots 5,0$  мкм),

$\eta$  – вязкость молока в паузах.

В середине XIX века стали пытаться использовать центробежное отделение жира, но эти попытки успешными не были. Дело в том (как мы увидим дальше), что производительность сепаратора  $Q$  в наибольшей степени зависит от квадрата числа оборотов барабана  $Q = f(n^2)$ . Однако, во время работы аппарата при определенных оборотах (их называют критическими) наступает явление резонанса, при котором собственные колебания барабана совпадают с вынужденными. Это приводит к тому, что ось вращения барабана отклоняется от вертикали на недопустимую величину, при которой происходит поломка вала барабана. К тому же эти критические обороты не очень велики (1000...1500 об/мин), следовательно, рабочие обороты барабана были ещё меньше. Такие сепараторы имели очень небольшую производительность и были экономически не выгодными.

Выход из создавшегося положения нашел известный шведский инженер Карл Густав Лаваль (1845 – 1913г.г.). В 1878 г. он создал сепаратор, в котором барабан вращался со скоростью до 10000...12000 об/мин. В этом сепараторе вал барабана состоит из двух половин, соединенных между собой упругой муфтой. При достижении критических оборотов, амплитуда колебаний барабана резко возрастает, но она гасится упругой муфтой, а барабан легко преодолевает эти обороты и нормально работает в диапазоне сверхкритических оборотов.

Молочные сепараторы разделяются на *сливкоотделители*, *очистители* и *нормализаторы*. Выпускают также универсальные сепараторы.

Рассмотрим основы теории молочного сепаратора, которую предложил Г.И. Бремер.

На рис. 3 показана схема расположения тарелок барабана сепаратора (межтарелочное пространство), жировой шарик и основные параметры пространства. Под действием сил потока молока шарик увлекается этим потоком со скоростью всплывания  $V_{пл}$  и одновременно двигается к поверхности тарелки со скоростью  $V_c$  (определяется по

формуле Стокса). Обозначим  $T$  – время, в течение которого жировой шарик должен достичь поверхности тарелки, чтобы начать движение вверх вместе с другими шариками.

На схеме видно, что

$$L = v_{n.ср.} \cdot T = \frac{H}{\sin \alpha} \quad (1)$$

$$S = v_{с.ср.} \cdot T = \frac{h}{\tan \alpha} \quad (2)$$

Разделим уравнение (1) на уравнение (2), получим

$$\frac{v_{n.ср.}}{v_{с.ср.}} = \frac{H}{h} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad (3)$$

Определим значения  $v_{n.ср.}$  и  $v_{с.ср.}$ . Скорость  $v_{с.ср.}$  находится по формуле Стокса. Заменим  $g$  на  $\omega^2 R$  – центростремительное ускорение – а  $R$  примем средним. Тогда

$$v_{с.ср.} = \frac{2}{9} \omega^2 \frac{R_{\min} + R_{\max}}{2} \cdot \frac{\sigma_{\Pi} - \sigma_{ж}}{\eta} \cdot r^2$$

В межтарелочном пространстве жировые шарики движутся вместе с потоком молока с постоянно уменьшающейся скоростью  $V_{\Pi}$ . На каждом элементарном участке она будет иной, поэтому можно определить среднюю скорость в диапазоне  $R_{\max} - R_{\min}$

$$V_{n.ср.} = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n} = \frac{\sum V_i}{n}$$

или

$$V_{n.ср.} = \frac{\int V_{\Pi} dR}{R_{\max} - R_{\min}}$$

Зная производительность сепаратора  $Q$  и сечение, через которое проходит молоко в процессе обработки, определим

$$V_{\Pi} = \frac{Q}{2\pi R h \cdot \cos \alpha \cdot r},$$

$$\text{отсюда } V_{n.ср.} = \frac{\int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \frac{Q}{2\pi R h \cdot \cos \alpha \cdot r} dR}{R_{\max} - R_{\min}} = \frac{\frac{Q}{2\pi R h \cdot \cos \alpha \cdot r} \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \frac{dR}{R}}{R_{\max} - R_{\min}}$$

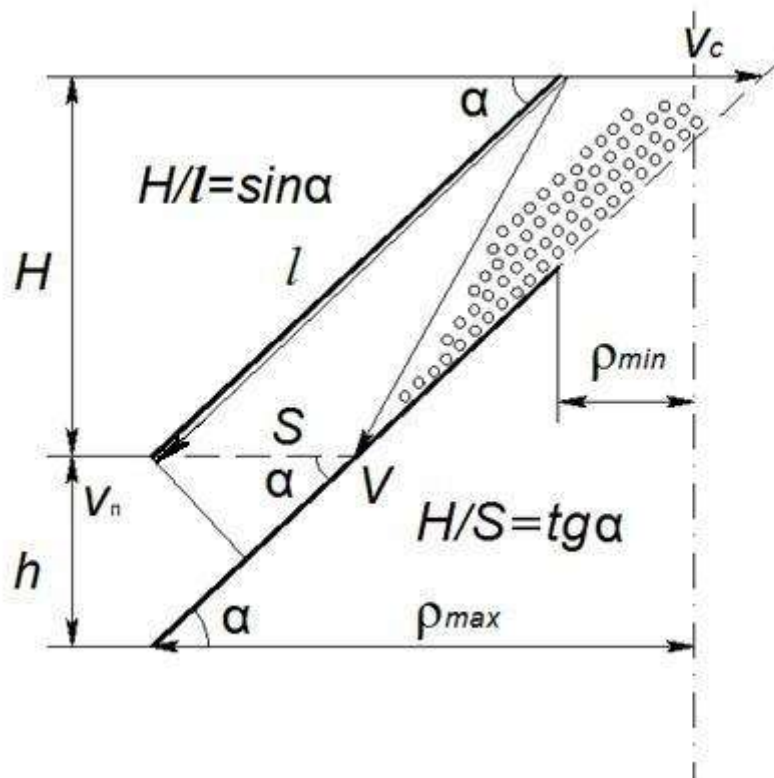


Рис. 3а – Выделение жирового шарика при движении молока в межтарелочном пространстве

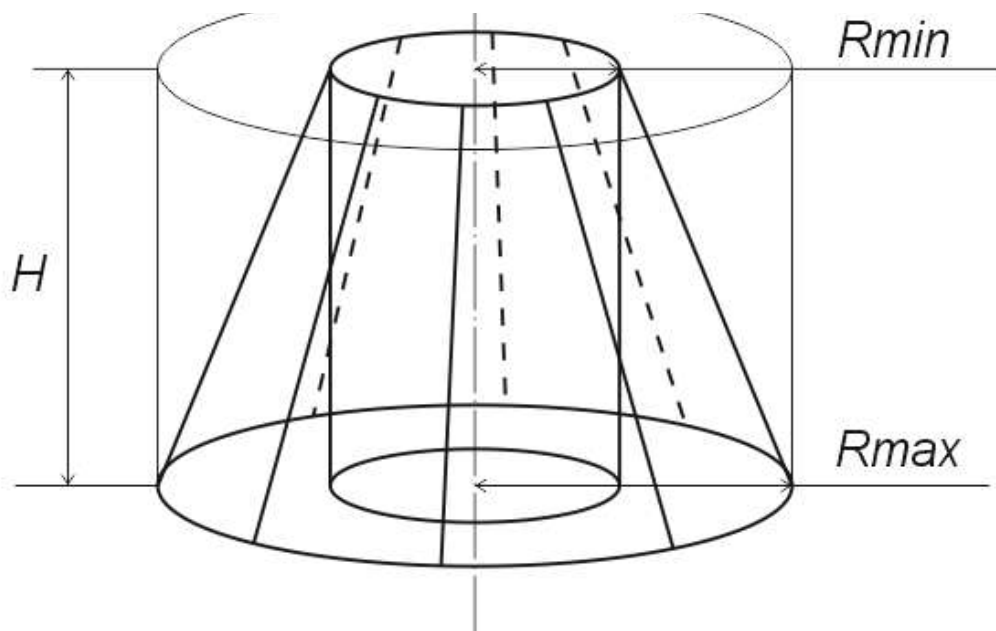


Рис. 3б – К определению расчетного объема барабана сепаратора

или

$$V_{n.c.p.} = \frac{Q}{2\pi h \cdot \cos \alpha \cdot r} \cdot \frac{\ln \frac{R_{\max}}{R_{\min}}}{R_{\max} - R_{\min}}$$

Подставим значения  $V_{n.c.p.}$  и  $V_{c.c.p.}$  в уравнение (1):

$$\frac{\frac{Q}{2\pi R h \cdot \cos \alpha \cdot r} \cdot \frac{\ln \frac{R_{\max}}{R_{\min}}}{R_{\max} - R_{\min}}}{\frac{2}{9} \omega^2 \frac{R_{\max} + R_{\min}}{2} \cdot \frac{\sigma_{II} - \sigma_{жс}}{\eta} \cdot r^2} = \frac{H}{h} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

Упростим это выражение и окончательно получим

$$\left[ \frac{2}{9} \frac{\sigma_{II} - \sigma_{жс}}{\eta} r^2 \right] \left[ \omega^2 r \pi \frac{R_{\max}^2 - R_{\min}^2}{\ln \frac{R_{\max}}{R_{\min}}} \cdot H \right] = Q$$

Величина в первых квадратных скобках характеризует физические свойства молока и называется разделяемостью молока (она обозначается через  $\tau$ ).

Во вторых квадратных скобках нас интересует

$$\pi(R_{\max}^2 - R_{\min}^2) \cdot H = V_{\max}^2 - V_{\min}^2$$

Эта величина, разделенная на  $\ln \frac{R_{\max}}{R_{\min}}$ , называется приведенным или расчетным

объемом барабана сепаратора

$$V_p = V_{np} = \frac{V_{\max}^2 - V_{\min}^2}{\ln \frac{R_{\max}}{R_{\min}}}$$

Она оказывает существенное влияние на производительность сепаратора (схему  $V_p$  можно видеть на рисунке 3б)

Окончательно

$$Q = \tau \omega^2 r V_{np} \beta \text{ см}^3/\text{сек}$$

Для практических расчетов

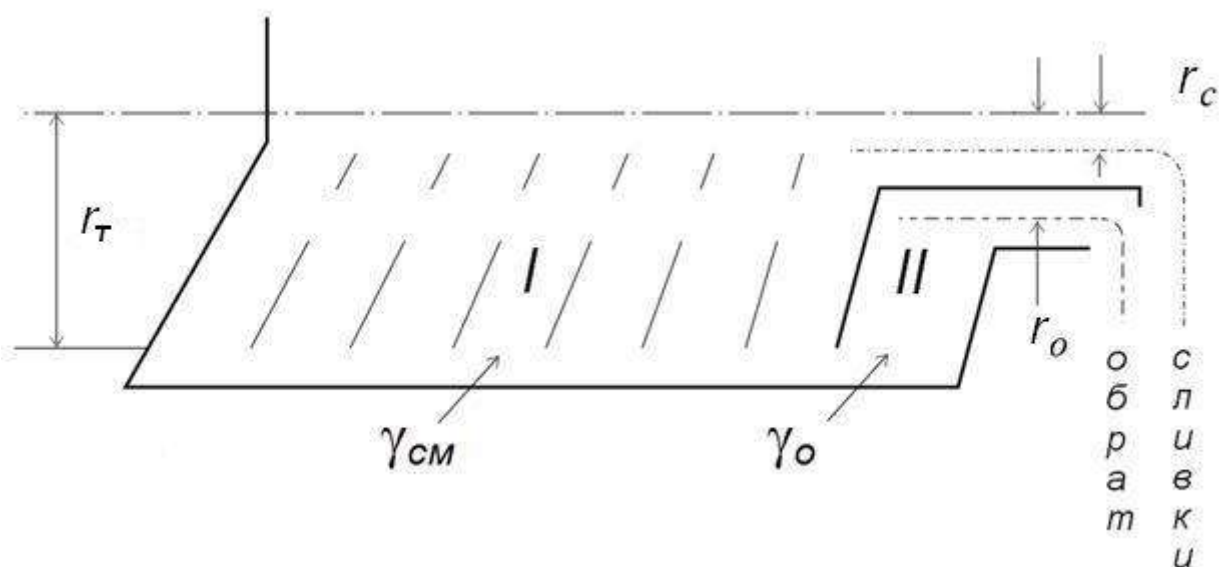


Рис. 4 – Схема к определению физического смысла регулирования жирности сливок

$$L = 0,04\tau \cdot rV_p n^2 \beta \text{ л/час}$$

где  $\beta$  – технологический КПД сепаратора.

Кстати, 
$$\frac{\sigma_{II} - \sigma_{жс}}{\eta} = 0,29t \text{ (при } t = 10 \dots 70^\circ\text{C),}$$

где  $t$  – температура молока, подверженного сепарированию.

Поскольку эта величина  $\left( \frac{\sigma_{II} - \sigma_{жс}}{\eta} \right)$  является важной составляющей

разделяемости молока  $\tau$  и значительно влияет на производительность сепаратора, молоко перед сепарированием нагревают до  $40 \dots 50^\circ\text{C}$  (большой нагрев экономически невыгоден).

Теперь рассмотрим **физический смысл регулирования жирности сливок**. Для этого барабан сепаратора разместим горизонтально (рис. 31). Видно, что он разделен верхней тарелкой на два сообщающихся сосуда: в первом находится смесь ( $\gamma_{см}$ ), состоящая из молока и сливок, во втором – обрат ( $\gamma_o$ ).

Для нормальной работы сепаратора должно быть обеспечено неравенство  $r_T - r_c > r_T - r_o$ , а в соответствии с законом сообщающихся сосудов

$$(r_T - r_c)\gamma_{см} = (r_T - r_o)\gamma_o$$

Иными словами, удельный вес (плотность) смеси будет зависеть от расположения отверстий, или

$$\frac{r_T - r_c}{r_T - r_o} = \frac{\gamma_o}{\gamma_{см}}$$

Учитывая действие громадных центробежных сил, эта формула будет иметь вид

$$\frac{r_T^2 - r_c^2}{r_T^2 - r_o^2} = \frac{\gamma_o}{\gamma_{см}}$$

Пользуясь этим выражением, можно подсчитать величину  $r_c$  для получения сливок разной жирности

$$r_c = \sqrt{r_T^2 - (r_T^2 - r_o^2) \frac{\gamma_o}{\gamma_{cm}}}.$$

## 1. 8 Лекция №8 (2 часа).

**Тема:** «Математическое моделирование технологических процессов переработки животноводческих продуктов»

### 1.8.1 Вопросы лекции:

1. Классификация процессов первичной переработки сельскохозяйственной продукции.
2. Алгоритм математического моделирования процессов первичной переработки продукции в АПК.
3. Системы линейных уравнений .....

### 1.8.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Классификация процессов первичной переработки сельскохозяйственной продукции

Всё многообразие процессов первичной переработки продукции в АПК можно классифицировать следующим образом.

##### 1.1 Частичное обезвоживание высоковлажных продуктов термическим способом:

- 1.1.1. Сушка зеленой травы с целью получения сенажа, сена, травяной муки;
- 1.1.2. Сушка фруктов, ягод, овощей, грибов;
- 1.1.3. Сушка натурального молока с целью получения сгущённого или сухого молока;
- 1.1.4. Сушка натуральных сливок с аналогичными целями;
- 1.1.5. Сушка свежих куриных яиц - яичный порошок;
- 1.1.6. Сушка рыбы, мяса;
- 1.1.7. Сушка кровяной муки на предприятиях по убою скота – кровяная мука;
- 1.1.8. Сушка сырого зерна; сырого сена;
- 1.1.9. Сушка макаронных изделий в процессе их производства;
- 1.1.10. Сушка сухарей из хлебобулочных изделий;
- 1.1.11. Сушка сока сахарной свеклы в процессе производства сахара;
- 1.1.12. Перегонка воды с целью получения дистиллированной воды;
- 1.1.13. Перегонка спиртосодержащих жидкостей с целью получения жидкостей с иным содержанием спирта;
- 1.1.14. Сушка строительных пиломатериалов

##### 1.2. Механическое разделение сырьевых продуктов на составные компоненты отжимом в поле центробежных сил (центрифугирование), отстоем в поле гравитационных сил, прессованием, разделением на решетных классификаторах, фильтрах, магнитных сепараторах:

- 1.2.1. Отжим соков зеленых трав, соков свежих ягод, фруктов, овощей;
- 1.2.2. Отжим растительных масел из семян масличных культур;
- 1.2.3. Разделение молока на сливки и обезжиренное или нормализованное по жиру молоко;
- 1.2.4. Разделение жидкого навоза на густую и осветленную жидкую фракции;
- 1.2.5. Очистка зерна от посторонних примесей;
- 1.2.6. Сортировка сыпучих строительных материалов, зерна на размерные фракции;



- 1.2.7. Очистка молока, растительных и машинных масел от механических примесей;  
1.2.8. Мойка корнеплодов.

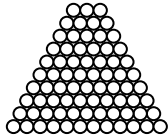
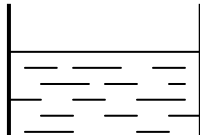
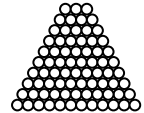
**1.3. Смешивание различных веществ между собой с целью получения смесей с заданными физико-механическими, химическими или биологическими свойствами:**

- 1.3.1. Смешивание моющих и дезинфицирующих веществ с водой;  
1.3.2. Высококонцентрированных ядов, удобрений с водой с целью получения рабочих растворов;  
1.3.3. Горячей и холодной воды с целью получения теплой воды;  
1.3.4. Серной кислоты с дистиллированной водой для получения электролита свинцовых кислотных аккумуляторных батарей;  
1.3.5. Сухого молока с водой для получения восстановленного молока (молочный напиток);  
1.3.6. Сливков с маложирным молоком или обезжиренного молока с высокожирным молоком с целью получения нормализованного по жиру молока;  
1.3.7. Спирта с водой и микродобавками для получения спиртных напитков;  
1.3.8. Смешивание различных кормов между собой для получения кормосмесей;  
1.3.9. Муки с водой и микродобавками для получения теста;  
1.3.10. Сыпучих строительных материалов (цемент, песок, гравий, щебенка и т. д.) с водой;  
1.3.11. Смешивание красок между собой или с растворителями.

Характерной особенностью **процессов первой группы** является разделение исходного продукта или сырья на частично (или полностью) обезвоженный остаток с заданной влажностью и чистую, практически дистиллированную воду с содержанием сухого вещества в ней "ноль" процентов, удаленную из сырья в виде пара.

Графическая интерпретация таких процессов может быть представлена следующим образом:

**Таблица 1**

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в процессе	Графическая интерпретация технологического процесса		
				
1	Название вещества	Сырьё	Испарившаяся вода	Конечный продукт
2	Масса или объем вещества	$M_c$	$M_g$	$M_{к.п.}$
3	Относительная влажность, %	$W_c$	$W_g=100\%$	$W_{к.п.}$

где  $W_c$ ,  $W_g$ ,  $W_{к.п.}$  относительная влажность, соответственно, сырья, испарившейся воды и конечного продукта.  $W_{к.п.}$  в таких процессах всегда меньше  $W_c$ , т.е.  $W_{к.п.} < W_c$ .

При расчете этих процессов требуется определить либо выход конечного продукта при заданном количестве сырья, либо потребное количество сырья при заданном количестве продукта. Иногда требуется определять и выпаренное количество влаги, необходимое для расчета потребного количества тепла и, следовательно, топлива для испарения этой влаги, например, на огневых сушилках.

Математическая модель таких процессов будет иметь вид

$$M_C - M_B = M_{к.п.} \quad (1)$$

$$W_C M_C - 100 M_B = W_{K.П.} M_{K.П.} \quad (2)$$

где  $M_C$ ,  $M_B$ ,  $M_{K.П.}$  – масса сырья, влаги, конечного продукта соответственно;  $W_C$ ,  $W_{K.П.}$  – относительная влажность сырья и конечного продукта.

Уравнение (1) этой системы представляет собой уравнение баланса масс веществ, участвующих в процессе сушки сырья. Уравнение (2) – уравнение баланса влаги в этом процессе.

Решив систему уравнений (1) и (2), получим значения величин  $M_C$ ;  $M_B$ ;  $M_{K.П.}$

$$M_C = f(M_B; M_{K.П.}; W_C; W_B; W_{K.П.})$$

$$M_B = f(M_C; M_{K.П.}; W_C; W_B; W_{K.П.})$$

$$M_{K.П.} = f(M_B; M_C; W_C; W_B; W_{K.П.})$$

$$M_C = M_{K.П.} \frac{100 - W_{K.П.}}{100 - W_C} \quad (3)$$

$$M_C = M_B \frac{100 - W_{K.П.}}{W_C - W_{K.П.}} \quad (4)$$

$$M_{K.П.} = M_C \frac{100 - W_C}{100 - W_{K.П.}} \quad (5)$$

$$M_{K.П.} = M_B \frac{100 - W_C}{W_C - W_{K.П.}} \quad (6)$$

$$M_B = M_C \frac{W_C - W_{K.П.}}{100 - W_{K.П.}} \quad (7)$$

$$M_B = M_{K.П.} \frac{W_C - W_{K.П.}}{100 - W_C} \quad (8)$$

Именно в таком виде формулы (3)...(8) используются в литературе.

Особенностью **процессов второй группы** является получение жидких фракций, влажность которых всегда меньше 100%.

Графическая интерпретация таких процессов выглядит следующим образом: **Таблица 2**

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в процессе	Графическая интерпретация технологического процесса		
				
1	Название вещества	Сырьё	Жидкая фракция	Густая фракция
2	Масса или объем вещества	$M_C$	$M_{ж.ф.}$	$M_{г.ф.}$
3	Относительная влажность, %	$W_C$	$W_{ж.ф.}$	$W_{г.ф.}$

где  $W_C$ ;  $W_{ж.ф.}$ ;  $W_{г.ф.}$  - относительная влажность, соответственно, сырья жидкой фракции, густой фракции.

Численное значение влажности  $W_C$ ;  $W_{ж.ф.}$ ;  $W_{г.ф.}$  в процентах и количество одного из трех веществ, участвующих в процессе в массовых или объемных единицах обычно задается в качестве исходных данных. Количество двух других веществ определяется расчетным путем.

Математическая модель описанного процесса будет иметь вид:

$$M_c - M_{ж.ф.} = M_{з.ф.} \quad (9)$$

$$W_c M_c - W_{ж.ф.} M_{ж.ф.} = W_{з.ф.} M_{з.ф.} \quad (10)$$

Решив данную систему уравнений, получим по аналогии с (3...8) зависимости

$$M_c = f(M_{ж.ф.}; M_{з.ф.}; W_c; W_{ж.ф.}; W_{з.ф.})$$

$$M_{ж.ф.} = f(M_c; M_{з.ф.}; W_c; W_{ж.ф.}; W_{з.ф.})$$

$$M_{з.ф.} = f(M_{ж.ф.}; M_c; W_c; W_{ж.ф.}; W_{з.ф.})$$

Конечные формулы имеют следующий вид:

$$M_c = M_{г.ф.} (W_{ж.ф.} - W_{г.ф.}) / (W_{ж.ф.} - W_c)$$

$$M_c = M_{ж.ф.} (W_{ж.ф.} - W_{г.ф.}) / (W_c - W_{г.ф.})$$

$$M_{г.ф.} = M_c (W_{ж.ф.} - W_c) / (W_{ж.ф.} - W_{г.ф.})$$

$$M_{г.ф.} = M_{ж.ф.} (W_{ж.ф.} - W_c) / (W_c - W_{г.ф.})$$

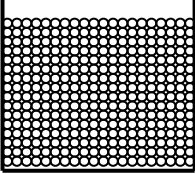
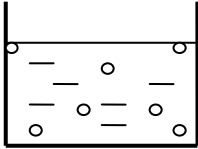
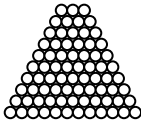
$$M_{ж.ф.} = M_c (W_c - W_{г.ф.}) / (W_{ж.ф.} - W_{г.ф.})$$

$$M_{ж.ф.} = M_{г.ф.} (W_c - W_{г.ф.}) / (W_{ж.ф.} - W_c)$$

В качестве конкретного примера **процессов второй группы** рассмотрим моделирование процесса получения подсолнечного масла.

Графическая интерпретация этого процесса будет выглядеть следующим образом:

Таблица 3

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в процессе	Графическая интерпретация технологического процесса		
			– 	= 
1	Название вещества	Семена подсолнечника	Подсолнечное масло	Подсолнечный жмых
2	Масса вещества	$M_c$	$M_m$	$M_{ж.м.}$
3	Относительное содержание растительного жира, %	$Ж_c$	$Ж_m$	$Ж_{ж.м.}$

где  $Ж_c$ ;  $Ж_m$ ;  $Ж_{ж.м.}$  процентное содержание растительного жира, соответственно, в семенах подсолнечника, в подсолнечном масле и подсолнечном жмыхе.

Математическая модель процесса получения подсолнечного масла имеет вид:

$$M_c - M_m = M_{ж.м.} \quad (11)$$

$$Ж_c M_c - Ж_m M_m = Ж_{ж.м.} M_{ж.м.} \quad (12)$$

Решив систему уравнений (11) и (12) в общем виде, получим конечные формулы:

$$M_m = M_{жм} (Ж_c - Ж_m) / (Ж_m - Ж_{жм})$$

$$M_m = M_c (Ж_c - Ж_m) / (Ж_m - Ж_{жм})$$

$$M_{жм} = M_m (Ж_m - Ж_c) / (Ж_c - Ж_{жм})$$

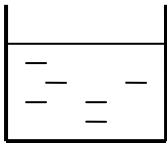
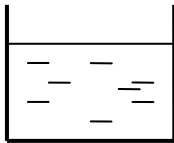
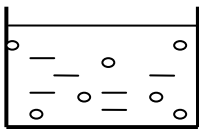
$$M_{жм} = M_c (Ж_m - Ж_c) / (Ж_m - Ж_{жм})$$

$$M_c = M_{жм} (Ж_m - Ж_{жм}) / (Ж_m - Ж_c)$$

$$M_c = M_m (Ж_m - Ж_{жм}) / (Ж_c - Ж_{жм})$$

Моделирование **процессов третьей группы** покажем на примере приготовления электролита различной плотности для свинцовых аккумуляторных батарей.

**Таблица 4**

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в процессе	Графическая интерпретация технологического процесса		
				
1	Название вещества	Серная кислота	Дистиллированная вода	Электролит
2	Объем вещества, см <sup>3</sup>	$V_K$	$V_в$	$V_{эл}$
3	Плотность, г/см <sup>3</sup>	$\rho_K$	$\rho_в$	$\rho_{эл}$

Математическая модель процесса

$$V_K + V_в = V_{эл} \quad (13)$$

$$\rho_K V_K + \rho_в V_в = \rho_{эл} V_{эл}$$

После решения системы (13); (14) конечные формулы будут иметь следующий вид:

$$V_K = V_{эл} (\rho_{эл} - \rho_в) / (\rho_K - \rho_{эл})$$

$$V_K = V_{эл} (\rho_{эл} - \rho_в) / (\rho_K - \rho_{эл})$$

$$V_в = V_K (\rho_K - \rho_{эл}) / (\rho_{эл} - \rho_в)$$

$$V_в = V_{эл} (\rho_K - \rho_{эл}) / (\rho_K - \rho_в)$$

$$V_{эл} = V_K (\rho_K - \rho_в) / (\rho_{эл} - \rho_в)$$

$$V_{эл} = V_в (\rho_K - \rho_в) / (\rho_K - \rho_{эл})$$

Надеемся читатель убедился в трудности использования метода продуктового расчета, основанного на использовании готовых конечных формул. Алгоритма запоминания названных формул не существует. Для использования этого метода необходимо иметь значительный объем справочной литературы, охватывающей всё многообразие процессов первичной переработки продукции в АПК.

Алгоритм математического моделирования процессов первичной переработки продукции не требует наличия справочной литературы, запоминания готовых конечных формул.

Рассмотрим этот алгоритм подробнее.

## 2. Алгоритм математического моделирования процессов первичной переработки продукции в АПК

Прежде чем приступить к расчету любого из перечисленных выше процессов, необходимо тщательно изучить поставленную задачу, выучить на память содержание задачи, выделить в ней главное - что дано и что требуется определить расчетным путем. Необходимо ясно представлять **сущность, смысл, идею и графическую интерпретацию** технологического процесса.

После этого вычертить и заполнить таблицу.

Рассмотрим это на примере 1:


*Вычислить количество сливок жирностью 20% и количество молока жирностью 2,5%, полученных при нормализации 1000 кг высокожирного молока жирностью 4,2%*

**Сущность процесса – отъём сливок от молока повышенной жирности с целью получения оставшегося молока меньшей стандартной жирности.** Нам неважно знать, как это делается, на каких машинах, как этот процесс растянут во времени. Надо знать ответ только на два вопроса - сколько получится сливок и сколько нормализованного молока?

Обозначим количество сливок  $X$ , количество нормализованного молока  $Y$  и приступим к заполнению таблицы № 5.

#### Расчет процесса нормализации высокожирного молока

Таблица 5

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в технологическом процессе	Графическая интерпретация технологического процесса		
				
	1	2	3	4
1	Точное название вещества	Высокожирное молоко	Сливки	Нормализованное молоко
2	Масса (объем) вещества, кг; л.	1000	$X$	$Y$
3	Содержание жира в веществах, %	4,2	20	2,5

#### Особенности таблицы

1. Число столбцов в таблице, не считая первого, определяется численностью веществ, участвующих в процессе переработки. В общем случае оно колеблется от трех до нескольких десятков. Необходимо строго соблюдать правило - **для каждого вещества свой столбец.**

2. Число строк в таблице определяется численностью заданных физических свойств веществ. Но и здесь требуется строгое соблюдение правила - первая строка всегда отводится для **точного названия** вещества, вторая - для записи масс или объемов веществ, участвующих в процессе. Последующие строки (3-я; 4-я...) служат для записи числовых значений физических свойств: влажности, жирности, плотности, кислотности, питательности и т.д.

Обращаем внимание читателя на термин «**точное название вещества**» в строке 1 в силу его огромной важности. Невнимательный читатель может написать в строке 1 таблицы, например, такие названия: молочная цистерна, бак со сливками, бочка с молоком. Получится абсурд.

Цистерна, бак, бочка - это предметы, тара, оборудование в конце-концов, но никак не вещество. Эти предметы не могут иметь жирность, плотность и т.д.

И последнее. Математические знаки «-»; «+»; «=» в графической интерпретации необходимо писать точно на границе между двумя смежными столбцами.

Дальнейшая последовательность расчетов будет такой.

1. После заполнения таблицы, используя графическую интерпретацию процесса и строку № 2, необходимо составить уравнение баланса масс (объемов) веществ в процессе переработки. В примере 1 это уравнение будет иметь вид:

$$1000 - X = Y \quad (15)$$

2. Составить второе уравнение - уравнение баланса физического свойства (в примере 1 - уравнение баланса жира). Для этого необходимо каждый член **первого** уравнения **умножить** на физическую характеристику вещества, представленного в уравнении числом или условным обозначением, сохранив при этом знаки «-»; «+»; «=» такими, как в первом уравнении. Другая формулировка правила получения второго

уравнения. Для составления второго уравнения необходимо **перемножить** данные строки 2 и строки 3 в одноименных столбцах, сохранив математические знаки «-»; «+»; «=» как в первом уравнении.

В примере таблицы 5 второе уравнение будет иметь вид:

$$4,2 \times 1000 - 20X = 2,5Y \quad (16)$$

Перепишем полученные уравнения еще раз

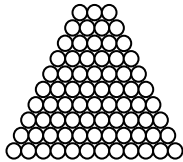

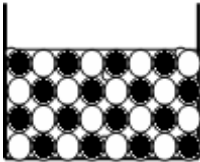
$$1000 - X = Y \quad (15)$$

$$4200 - 20X = 2,5Y \quad (16)$$

Мы получили математическую модель процесса нормализации высокожирного молока до молока стандартной жирности. Решив систему (15), (16), получим  $X = 97$  кг;  $Y = 903$  кг. Рассмотрим еще несколько примеров получения математических моделей.

**Пример 2.** В смеситель засыпали измельченный картофель влажностью 70% и питательностью 0,3 к.ед./кг; концентраты влажностью 13%, питательностью 0,95 к.ед./кг; силос влажностью 75%, питательностью 0,25 к.ед./кг. Масса смеси оказалась равной 800 кг, средняя влажность 58%, а питательность смеси 0,44 к.ед./кг.

Определить массу картофеля, концентратов и силоса, вошедших в состав кормосмеси. **Расчет потребности кормов для приготовления кормосмеси** **Таблица 6**

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в процессе	Графическая интерпретация процесса получения кормосмеси			
					
	1	2	3	4	5
1	Точное название вещества	картофель	концентраты	силос	кормосмесь
2	Масса кормов, кг	X	Y	z	800
3	Влажность кормов, %	70	13	75	58
4	Питательность кормов, к.ед./кг	0,3	0,95	0,25	0,44

Математическая модель процесса имеет вид

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$70X + 13Y + 75Z = 58 \times 800 \quad (18)$$

$$0,3 X + 0,95 Y + 0,25Z = 0,44 \times 800 \quad (19)$$

Решив полученную систему уравнений, будем иметь:

$$X = 240 \text{ кг};$$

$$Y = 200 \text{ кг};$$

$$Z = 360 \text{ кг}$$

**Пример 3.** Свежие ягоды клубники, влажностью 80% и содержанием сахара 5%, высушили до влажности 13%. Во сколько раз увеличится содержание сахара в сухой клубнике, если весь сахар при сушке остается в ягодах?

**Примечание.** В процессах 1-го вида - испарение, выпаривание влаги - при расчете процесса целесообразнее использовать не относительную влажность веществ, а содержание абсолютно сухого остатка.

Этот прием позволяет значительно облегчить решение системы уравнений, так как одно из уравнений получается с одним неизвестным. Заполняем таблицу 7.

**Расчет процентного содержания сахара в сухих ягодах клубники**

Таблица 7

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в процессе	Графическая интерпретация процесса получения кормосмеси		
				
	1	2	3	4
1	Точное название вещества	Свежая ягода клубники	Испарившаяся вода	Сухая ягода клубники
2	Масса веществ, кг	X	Y	Z
3	Величина <b>абсолютно сухого остатка</b> , %	20	0	87
4	Содержание сахара, %	5	0	P

Математическая модель процесса

$$X - Y = Z \quad (20)$$

$$20 X - 0 = 87 Z \quad (21)$$

$$5 X - 0 = P Z \quad (22)$$

Из уравнения (22) находим содержание сахара «P» в сухих ягодах клубники.

$$P = 5 \frac{X}{Z} \quad (23)$$

Отношение  $\frac{X}{Z}$  находим из уравнения (21).

$$\frac{X}{Z} = \frac{87}{20}$$

Таким образом, 5-ти процентное содержание сахара в свежей клубнике при сушке увеличится в 4,35 раза и составит 21,75%.

**Пример 4.** В молочном цехе смонтирована поточная линия по производству сгущенного молока с сахаром со следующими свойствами:

- Содержание сахара свекловичного 15%,
- Содержание жира 8%.
- Общее содержание сухого остатка – 30 %

Производительность линии 1000кг «сгущенки» в сутки.

Определить суточную потребность в сырье:

1. Нормализованного молока, его жирность, если содержание сухого остатка в нем 12%;
2. Сахарного песка влажностью 13%;
3. Количество выпаренной воды, кг/сут.

Вариации исходных данных в этой задаче могут быть весьма разнообразными. Это один из вариантов. Ниже мы убедимся, как легко решаются подобного рода задачи методом математического моделирования. Заметим попутно, что значение численной величины массы выпаренной воды позволит в дальнейшем рассчитать количество тепловой энергии, потребной на выпаривание воды из натурального молока, помятуя о теплоте испарения воды.

**Расчет процесса получения сгущенного молока с сахаром Таблица 8**



№ п/п	Название и физические свойства веществ, участвующих в процессе	Графическая интерпретация процесса				
			–		+	
	1	2	3	4	5	
1	Точное название вещества	Натуральное молоко	Выпаренная вода	Сахар свекловичный	Сгущенное молоко с сахаром	
2	Масса веществ, кг/сут	X	Y	Z	1000	
3	Содержание жира, %	$\mathcal{J}_m$	0	0	8	
4	Содержание абсолютно сухого остатка, %	12	0	87	30	
5	Содержание свекловичного сахара. %	0	0	100	15	

Математическая модель процесса

$$X - Y - Z = 1000 \quad (24)$$

$$\mathcal{J}_m \times X - 0 + 0 = 8 \times 1000 \quad (25)$$

$$12X - 0 + 87Z = 30 \times 1000 \quad (26)$$

$$0 - 0 + 100Z = 15 \times 1000 \quad (27)$$

Обратим внимание читателя на то, что уравнение (27) в полученной системе оказалось с одним неизвестным. Из него сразу получаем значение  $Z = 150 \text{ кг}$

Дальнейший ход решения комментариев не требует.

$$X = 1412,5 \text{ кг}; Z = 150 \text{ кг};$$

$$Y = 562,5 \text{ кг}; \mathcal{J}_m = 5,66 \text{ \%}.$$

Но не все так прозрачно, как кажется на первый взгляд. Чтобы у читателя не сложилось «несерьезное» отношение к решению систем 3-х; 4-х и более уравнений сообщим, что **пример 4** подобран специально. Его особенность в том, что коэффициенты при неизвестных  $X$ ;  $Y$ ;  $Z$  в трех уравнениях из четырех равны нулю. Однако чаще всего при решении подобных задач все коэффициенты при неизвестных отличны от нуля.

**Пример 5.** Суточный рацион коровы, скармливаемый в виде кормосмеси 24 кг/сут, состоит из сена, корнеплодов, сенажа и комбикорма. Характеристика этих кормов имеет следующие показатели - таблица 9.

Рассчитать количество сена, корнеплодов, сенажа и комбикорма, необходимого для получения кормосмеси, содержащей 23 г/кг протеина, 4,1 МДж/кг обменной энергии и 0,37 к.ед/кг питательности (таблица 10).

**Характеристика кормов Таблица 9**





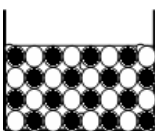
№ п/п	Показатели	Сено	Корнеплоды	Сенаж	Комбикорм	Кормосмесь
	1	2	3	4	5	6
1	Содержание протеина, г/кг	82	13	39	1,4	24
2	Содержание обменной	4,6	1,25	3,6	10,2	4,1

	энергии, МДж/кг					
<b>3</b>	Питательность к.ед/кг	0,47	0,13	0,3	0,95	0,37

Заполняем таблицу № 10.

### Расчет состава кормосмеси

Таблица 10

№ п/п	Название и физические свойства кормов	Графическая интерпретация				
						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	Название корма	сено	корнеплоды	сенаж	комбикорм	кормосмесь
<b>2</b>	Масса кормов, кг	X	Y	Z	K	24
<b>3</b>	Содержание протеина, г/кг	82	13	39	1,4	23
<b>4</b>	Питательность, к.ед/кг	0,47	0,13	0,3	0,95	0,37
<b>5</b>	Содержание обменной энергии МДж/кг	4,6	1,25	3,6	10,2	4,1

Математическая модель кормосмеси имеет следующий вид:

$$X + Y + Z + K = 24 \quad (28)$$

$$82X + 13Y + 39Z + 1,4K = 23 \times 24 \quad (29)$$

$$0,47X + 0,13Y + 0,3Z + 0,95K = 0,37 \times 24 \quad (30)$$

$$4,6X + 1,25Y + 3,6Z + 10,2K = 4,1 \times 24 \quad (31)$$

Выполнив умножение в правой части уравнений, получим окончательный вид математической модели:

$$X + Y + Z + K = 24$$

$$82X + 13Y + 39Z + 1,4K = 552$$

$$0,47X + 0,13Y + 0,3Z + 0,95K = 8,88$$

$$4,6X + 1,25Y + 3,6Z + 10,2K = 98,4$$

Решив данную систему получим:

$$X = 0,04\text{кг}; Z = 11,22\text{кг}$$

$$Y = 8,06\text{кг}; K = 4,7\text{кг}.$$

Результаты расчетов показывают, что сено в рацион можно не включать.

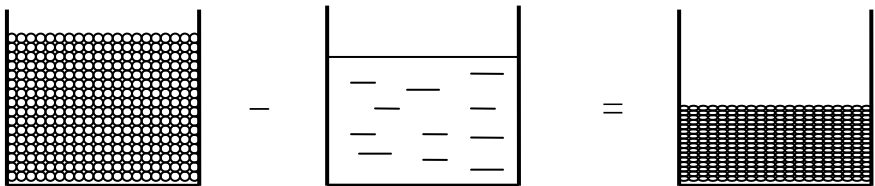
**Пример 6.** Из суточной нормы кормления свиноматки на долю зерновых кормов (ячмень) приходится 4,5 кормовых единиц (к.ед./гол.). Питательность абсолютно сухого ячменя равна 1,24 к.ед./кг. Сколько голов N свиноматок может прокормить 1га посевов ячменя в течение года, если урожайность зерна на нем составляет 3000 килограмм на гектар при влажности зерна 15%.

#### Алгоритм решения

1. Вычисляется количество абсолютного сухого зерна, получаемого с 1 га посевов. Для этого заполняем таблицу 11. **Расчет количества абсолютно сухого ячменя, получаемого с 1га посевов.**

Таблица 11

№	Название и	Графическая интерпретация процесса получения кормосмеси
---	------------	---

	физические характеристики веществ			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1.	Точное название вещества	Сырое зерно	Испарившаяся вода	Абсолютно сухое зерно
2.	Масса, кг/га	3000	X	Y
3.	Содержание абсолютно сухого вещества, %	85	0	100

Математическая модель получения абсолютно сухого ячменя:

$$3000 - X = Y \quad (32)$$

$$85 \times 3000 = 100Y \quad (33)$$

Из уравнения (33) находим

$$Y = \frac{85 \cdot 3000}{100} = 2550 \text{ кг/га}$$

2. Определяется количество абсолютно сухого ячменя, требующееся на одну свиноматку в течении года - G год/гол.

$$G_{\text{год}} = \frac{4,5 \frac{\text{кг}}{\text{сут}} \cdot \frac{\text{сут}}{\text{гол}}}{1,24 \frac{\text{кг}}{\text{сут}}} \cdot 365 \frac{\text{сут}}{\text{год}} = 1324 \frac{\text{кг}}{\text{год} \cdot \text{гол}}$$

3. Определяется количество свиноматок, которое можно прокормить в течение года урожаем ячменя с одного гектара

$$N = \frac{2550 \text{ кг/га}}{1324 \text{ кг/гол} \cdot \text{год}} = 1,92, \text{ т.е. 2 головы/га}$$

Подводя итог сказанному, можно сделать следующий вывод - самым главным и в большинстве случаев самым легким этапом в расчете процессов при обработке продукции растениеводства и животноводства является этап получения математической модели процесса в форме системы «n» уравнений с «n» неизвестными. Очевидность и легкость этого этапа зачастую вызывает у читателя **невнимательность, поспешность** и, как следствие, составление неверной математической модели процесса со всеми вытекающими из этого последствиями. Действительные трудности и большой объем вычислительных операций вызывает решение систем двух, трех и более уравнений с соответствующим числом неизвестных. На компьютерах можно решать системы из нескольких десятков уравнений с соответствующим числом неизвестных. Для решения таких систем используют либо метод Крамера (с помощью определителей), либо метод Гаусса, заключающийся в последовательном исключении неизвестных. Для решения на ЭВМ систем линейных уравнений пользуются готовыми пакетами прикладных программ. Однако, читатель должен ясно представлять себе **алгоритм** программ, работающих в компьютере. Кроме того, решать систему двух, трех уравнений с соответствующим числом неизвестных на персональном компьютере все равно, что «стрелять из пушки по воробьям». Поэтому мы сочли уместным напомнить читателю некоторые сведения из

линейной алгебры по использованию методов Гаусса и Крамера при решении систем линейных уравнений с помощью простых микрокалькуляторов.

### 3. Системы линейных уравнений

#### Определения.

Линейным уравнением называется такое уравнение, в котором все неизвестные имеют первую степень

$$AX + BY + CZ = D; \quad (34)$$

Здесь  $X; Y; Z$ ; имеют первую степень. Поэтому данное уравнение называется линейным.

Системой линейных уравнений называется множество линейных уравнений с неизвестными  $X, Y, Z, \dots$ , в которых численные значения этих неизвестных, будучи подставленными во все уравнения системы, обращает их в **тождества**. Таким образом, решением системы уравнений являются числовые значения неизвестных, полученные в результате вычислительных операций над системой. В общем случае система может иметь одно решение, может иметь бесконечное множество решений, а может и не иметь ни одного решения. Например, система

$$X + Y + Z = 0 \quad (35)$$

$$2X + 2Y + 2Z = 2 \quad (36)$$

$$3X + 3Y + 3Z = 3 \quad (37)$$

решений не имеет, так как, если бы решение существовало, то  $X + Y + Z$  равнялось бы одновременно и нулю и единице.

Системы, не имеющие решений, называются **несовместными**, а имеющие решения - **совместными**.

Совместная система линейных уравнений называется **определенной**, если она имеет только одно решение, т.е. существует только один набор числовых значений неизвестных, который обращает все уравнения системы в тождества.

Совместная система линейных уравнений называется **неопределенной**, если решений больше, чем одно. Например, система

$$X + Y - Z = 36 \quad (38)$$

$$X - Y + Z = 13 \quad (39)$$

$$-X + Y + Z = 7 \quad (40)$$

имеет несколько решений. Предоставляем читателю возможность самому найти решения этой системы.

Во всех примерах и задачах данного «Учебного пособия» математические модели представлены только **совместными** и **определенными** системами линейных уравнений.

Но и это не все. На решения представленных в «Пособии» примеров накладывается еще одно условие – **неотрицательность результата решений**, т.е. после решения численное значение ни у одного неизвестного не может иметь знак «минус». Если, например, неизвестное  $K$  в примере 5 в результате решения окажется отрицательным, то это означает, что комбикорм в кормосмесь надо не прибавлять, а отнимать его из кормосмеси. Еще больший абсурд получится при решении системы в примере 1 (уравнения 15, 16),

$$1000 - X = Y \quad (15)$$

$$4200 - 20X = 2,5Y \quad (16)$$

если неизвестное, например  $Y$ , окажется со знаком «минус». Напомним - правильное решение:  $X = 97$  кг,  $Y = 903$  кг. Если же  $Y = -903$  кг, тогда из уравнения (15)  $X = 1000 - (-903) = 1903$  кг. Как можно из 1000 кг молока получить 1903 кг сливок?

К сожалению, иногда встречаются читатели, которые, несколько не задумываясь над абсурдностью полученных результатов, выдают подобные ответы за истину.

#### 3.1. Решение систем линейных уравнений методом Гаусса - методом последовательного исключения неизвестных.

Рассмотрим применение метода Гаусса для решений системы трех линейных уравнений с тремя неизвестными из примера 2.

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$70X + 13Y + 75Z = 46400 \quad (18)$$

$$0,3X + 0,95Y + 0,25Z = 352 \quad (19)$$

Последовательность процедуры такова:

1. Надо исключить неизвестное  $X$  из уравнения (18). Для этого все члены уравнения (17) необходимо умножить на коэффициент при  $X$  в уравнении (18). Этот коэффициент равен 70. Строго говоря, надо все члены уравнения (17) умножить на отношение коэффициента при  $X$  в уравнении (18) к коэффициенту при  $X$  в уравнении (17), т.е. все члены уравнения (17) надо умножить на дробь  $70/1$  и переписать систему заново

$$70X + 70Y + 70Z = 70 \times 800 \quad (17.1)$$

$$70X + 13Y + 75Z = 46400 \quad (18)$$

$$0,3X + 0,95Y + 0,25Z = 352 \quad (19)$$

2. Теперь необходимо вычесть почленно уравнение (18) из уравнения (17.1). Полученное новое уравнение надо записать на место уравнения (18).

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$57Y - 5Z = 9600 \quad (18.1)$$

$$0,3X + 0,95Y + 0,25Z = 352 \quad (19)$$

3. Для исключения  $X$  из уравнения (19) по аналогии с предыдущими действиями все члены уравнения (17) умножить на 0,3; точнее на отношение  $0,3/1$

$$0,3X + 0,3Y + 0,3Z = 240 \quad (17.2)$$

$$57Y - 5Z = 9600 \quad (18.1)$$

$$0,3X + 0,95Y + 0,25Z = 352 \quad (19)$$

4. Вычесть уравнение (17.2) из уравнения (19) и полученное новое уравнение (19.1) записать на месте уравнения (19).

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$57Y - 5Z = 9600 \quad (18.1)$$

$$0,65Y - 0,05Z = 112 \quad (19.1)$$

5. Теперь, не трогая уравнение (17) надо исключить неизвестное  $Y$  из уравнения (19.1). Для этого каждый член уравнения (18.1) умножим на дробь  $0,65/57$ . Здесь  $0,65$  - коэффициент при  $Y$  в уравнении (19.1), а  $57$  - коэффициент при  $Y$  в уравнении (18.1).  $X + Y + Z = 800$

$$\frac{0,65}{57} * 57Y - \frac{0,65}{57} * 5Z = \frac{0,65}{57} * 9600$$

$$0,65Y - 0,05Z = 112$$

Перепишем систему, произведя сокращения

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$0,65Y - 0,057Z = 109,5 \quad (18.2)$$

$$0,65Y - 0,05Z = 112 \quad (19.1)$$

6. Вычтем уравнение (18.2) из уравнения (19.1) и перепишем систему.

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$0,65Y - 0,057Z = 109,5 \quad (18.2)$$

$$0,007Z = 2,5 \quad (19.2).$$

Полученное уравнение (19.2) - уравнение с одним неизвестным  $Z$ , из которого находим

$$Z = \frac{2,5}{0,007} = 357 \text{ кг}$$

Из уравнения (18.2)  $Y = 200$  кг.;

Из уравнения (17)  $X = 243$  кг.

Метод Гаусса для решения систем линейных уравнений в силу своей простоты и однотипности выполняемых операций очень хорошо подходит для использования на ЭВМ. Существенным недостатком этого метода является невозможность сформулировать **условия совместности и определенности** системы в зависимости от значений коэффициентов и свободных членов. С другой стороны, даже в случае определенной системы, этот метод не позволяет найти общие формулы, выражающие решение системы через ее коэффициенты и свободные члены, которые необходимо иметь при анализе уравнений.

### 3.2. Решение систем линейных уравнение методом Крамера

#### 3.2.1. Элементы теории определителей.

**Определитель второго порядка.** Определители впервые были введены для решения системы уравнений первой степени в 1750 г. Швейцарский математик Г.Кramer дал общие формулы, выражающие неизвестные через определители, составленные из коэффициентов системы. Примерно через сто лет теория определителей, выйдя далеко за пределы алгебры, стала применяться во всех математических науках.

Рассмотрим таблицу вида:

$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix} \quad (41)$$

где,  $a_1; b_1; a_2; b_2$  - некоторые числа. Любая такая таблица называется матрицей второго порядка. Числа  $a_1 b_1 a_2, b_2$  называются элементами матрицы.

Число, равное  $a_1 b_2 - a_2, b_1$ , называется **определителем матрицы** или определителем второго порядка и обозначается  $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = \Delta$

Итак, по определению определитель матрицы равен

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1 b_2 - a_2 b_1 \quad (42)$$

Рассмотрим систему двух линейных уравнений из примера 1

$$\begin{aligned} X + Y &= 1000 \\ 20X + 2,5Y &= 4200 \end{aligned}$$

$$\text{здесь } \Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 20 & 2,5 \end{vmatrix} = 1 \cdot 2,5 - 1 \cdot 20 = -17,5$$

Если столбец коэффициентов при неизвестном  $X$  в этом определителе матрицы заменить на столбец свободных членов, то получим новый определитель  $\Delta X$ :

$$\Delta X = \begin{vmatrix} 1000 & 1 \\ 4200 & 2,5 \end{vmatrix} = 1000 \times 2,5 - 4200 \times 1 = -1700$$

Если столбец коэффициентов при неизвестном  $Y$  заменить на столбец свободных членов, то получим определитель:

$$\Delta Y = \begin{vmatrix} 1 & 1000 \\ 20 & 4200 \end{vmatrix} = 1 \times 4200 - 20 \times 1000 = -15800$$

Решение системы двух **данных** уравнений по способу Крамера будет иметь вид:

$$X = \frac{\Delta X}{\Delta} = \frac{-1700}{-17,5} = 97$$

$$Y = \frac{\Delta Y}{\Delta} = \frac{-15800}{-17,5} = 903$$

### 3.2.2. Определитель третьего порядка.

Рассмотрим **квадратную** таблицу вида:

$$\begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix} \quad (43)$$

где  $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3$  - некоторые числа. Любая такая таблица называется матрицей третьего порядка.

Определитель матрицы (42), или определитель третьего порядка, обозначается

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} \quad (44)$$

Этот определитель выражается через определители второго порядка следующим образом:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 \begin{vmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} - b_1 \begin{vmatrix} a_2 & c_2 \\ a_3 & c_3 \end{vmatrix} + c_1 \begin{vmatrix} a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 \end{vmatrix} \quad (45)$$

Раскрывая определители второго порядка по формуле (45) предыдущего пункта, находим, что

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3 + a_3 b_1 c_2 + a_2 b_3 c_1 - a_3 b_2 c_1 \quad (46)$$

Формулу (45) запомнить значительно легче, чем формулу (46), если заметить следующее правило построения слагаемых в правой части равенства (44):

Берем первый элемент первой строки матрицы (43), т.е.  $a_1$  и умножаем его на определитель матрицы второго порядка, получающийся из исходной матрицы (43) после вычеркивания строки и столбца, на пересечении которых стоит взятый нами элемент; затем берем со знаком "минус" второй элемент первой строки, т.е.  $b_1$  и умножаем его на определитель матрицы второго порядка, получающийся после вычеркивания из исходной матрицы (43) уже второго столбца и первой строки (на их пересечении стоит элемент  $b_1$ ); берем третий элемент первой строки, т.е.  $c_1$  и умножаем его на соответствующий ему определитель второго порядка.

Описанное правило и формулу (45) называют разложением определителя третьего порядка по элементам первой строки.

Вычисляем определитель третьего порядка из примера 2.

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 70 & 13 & 75 \\ 0,30,950,25 \end{vmatrix} = 1 \cdot \begin{vmatrix} 13 & 75 \\ 0,95 & 0,25 \end{vmatrix} - 1 \cdot \begin{vmatrix} 70 & 75 \\ 0,3 & 0,25 \end{vmatrix} + 1 \cdot \begin{vmatrix} 70 & 13 \\ 0,3 & 0,95 \end{vmatrix} =$$

$$= 13 \cdot 0,25 - 0,95 \cdot 75 - 70 \cdot 0,25 + 0,3 \cdot 75 + 70 \cdot 0,95 - 0,3 \cdot 13 =$$

$$= 3,25 - 71,25 - 17,5 + 22,5 + 66,5 - 3,9 = -0,4$$

Если в определителе третьего порядка (на примере 2) первый столбец

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 70 & 13 & 75 \\ 0,30,950,25 \end{vmatrix} \quad \text{заменить столбцом свободных членов из системы линейных}$$

уравнений в примере 2, то получим новый определитель  $\Delta X$

$$\Delta X = \begin{vmatrix} 800 & 1 & 1 \\ 46400 & 13 & 75 \\ 352 & 0,95 & 0,25 \end{vmatrix}$$

Его также можно вычислить, разложив по элементам первой строки

$$\Delta X = 800 \times \begin{vmatrix} 13 & 75 \\ 0,95 & 0,25 \end{vmatrix} - 1 \times \begin{vmatrix} 46400 & 75 \\ 352 & 0,25 \end{vmatrix} + 1 \times \begin{vmatrix} 46400 & 13 \\ 352 & 0,95 \end{vmatrix} =$$

$$= 800 \times (13 \times 0,25 - 0,95 \times 75) - 46400 \times 0,25 + 352 \times 75 + 46400 \times 0,95 - 352 \times 13 = -96$$

По аналогии с определителем второго порядка, находим

$$X = \frac{\Delta X}{\Delta} = \frac{-96}{-0,4} = 240$$

Вычисляем определитель  $\Delta Y$

$$\Delta Y = \begin{vmatrix} 1 & 800 & 1 \\ 70 & 4400 & 75 \\ 0,3 & 352 & 0,25 \end{vmatrix} = -80$$

Находим величину  $Y$ .

$$Y = \frac{\Delta Y}{\Delta} = \frac{-80}{-0,4} = 200$$

Вычисляем определитель  $\Delta Z$

$$\Delta Z = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 800 \\ 70 & 13 & 46400 \\ 0,3 & 0,95 & 352 \end{vmatrix} = -144$$

В теории определителей доказывается теорема:

**Система «n» линейных уравнений имеет единственное решение тогда и только тогда, когда определитель матрицы системы отличен от нуля.**

Эта теорема позволяет любую систему из «n» линейных уравнений с «n» неизвестными проверить на наличие или отсутствие единственного решения еще до начала процедуры решения, т.е. до вычисления определителей  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ .

Если определитель матрицы равен нулю, то система уравнений либо вовсе не имеет решений (она несовместна), либо имеет бесконечное множество решений.



Для решения систем линейных уравнений на ЭВМ имеются готовые пакеты прикладных программ, использующие алгоритмы Гаусса и Крамера.

## **1. 9 Лекция №9 (2 часа).**

**Тема:** «Основы технической эксплуатации машин и оборудования в животноводстве»

### **1.9.1 Вопросы лекции:**

**1.Об определении уровня механизации технологических процессов животноводства**

**2.К расчету пневматических транспортеров кормов**

### **1.9.2 Краткое содержание вопросов:**

**1.Об определении уровня механизации технологических процессов животноводства**

Среди многочисленных показателей, характеризующих эффективность механизации животноводства, довольно часто применяется такой, как уровень механизации ( $U_{мех}$ )

$$U_{мех} = \frac{M_{мех}}{M_{общ}} \cdot 100 \%,$$

где  $M_{мех}$  – поголовье скота, обслуживаемое с применением средств механизации, гол.;

$M_{общ}$  – общее количество скота, обслуживаемого с применением средств механизации и вручную, гол.

Есть и ещё одно выражение для определения уровня механизации

$$U_{мех} = \frac{A_{мех}}{A_{мех} + A_{ручн}} \cdot 100 \%,$$

где  $A_{мех}$  – общий расход механической энергии, затрачиваемой машинами при выполнении процесса или технологической операции, кВт;

$A_{ручн}$  – энергия ручного труда операторов, обслуживающих эти машины, кВт.

К сожалению, при применении существующей методики определения уровня механизации процесса, техническое совершенство машин, их энерговооруженность, улучшение условий труда, преимущества более совершенной технологии и другие положительные факторы не принимаются во внимание. При таких условиях значимость уровня механизации как одного из таких технико-экономических показателей, которые характеризуют и оценивают эффективность использования техники, резко снижается, и его применение совершенно бессмысленно.

Например, если на молочно-товарной ферме всё поголовье доится машинами, то подсчитанный по существующим методикам  $U_{мех}$  составляет 100% независимо от того, какая доильная установка смонтирована в хозяйстве.

Для подсчета  $U_{мех}$  следует, по нашему мнению, воспользоваться затратами ручного труда – чем меньше эти затраты, тем выше уровень механизации. В этом случае методика подсчета уровня механизации процесса будет такой: сначала определяют физиологически

необходимое (или минимальное) время  $T_{физ}$  обслуживания одного животного, затем по технической характеристике машины – фактически затраченное оператором время  $T_{факт}$  и по выражению

$$U_{мех} = (100 - \frac{T_{факт}}{T_{физ}} \cdot 100) \%$$

вычисляют уровень механизации.

Здесь самое сложное – для каждого технологического процесса четко установить  $T_{физ}$  – минимальное время, затрачиваемое оператором высшей квалификации на одно животное при ручном выполнении операций по наиболее рациональной технологии.

4. Уровень механизации процесса доения на различных доильных установках при  $T_{физ}$ , равном 6 и 10 мин.

Тип доильной установки	Роботы и автоматизированные установки		Доильные площадки	Агрегаты для доения в стойлах	
$T_{факт}$ , мин.	0,5	1	2	3	4
$T_{физ}$ , мин.	6				
$U_{мех}$ , %	91,7	83,4	66,7	50	33,3

Тип доильной установки	Работы и автоматизированные установки		Доильные площадки			Агрегаты для доения в стойлах
$T_{факт}$ , мин.	0,5	1	2	3	4	5
$T_{физ}$ , мин.	10					
$U_{мех}$ , %	95	90	80	70	60	50

Например, для доения одной коровы продуктивностью 4 – 6 тыс. л молока в год время  $T_{физ}$  равное 6 – 10 мин., включает в себя ручные затраты на выполнение физиологически обоснованной технологии подготовки коровы к доению, благодаря которой у животного возбуждается рефлекс молокоотдачи и само доение.

Фактически затрачиваемое время на доение одной коровы зависит от технической оснащённости и технического совершенства доильной установки, в частности, от обеспеченности установок механизмами и автоматами для выполнения основных, подготовительных и заключительных операций. Это время может колебаться от 0 (при применении доильных роботов), 0,5 – 1,0 мин. (на автоматизированных установках) до 4 – 5 мин. (на линейных установках с переносными доильными ведрами).

Подсчитанный по этой методике уровень механизации процесса доения при различных  $T_{факт}$  и  $T_{физ}$  приведен в таблице.

Эту методику можно применить и для расчета уровня механизации при механической стрижке овец, ветеринарно-санитарной обработке животных, приготовлении кормов и некоторых других технологических процессах.

Таким образом, предлагаемая методика определения уровня механизма технологических процессов животноводства, позволяет получить объективные показатели, которые можно применять при сравнительной оценке процессов и машин.

## 2.К расчету пневматических транспортеров кормов

Этот расчет ведется, с одной стороны, по площади конечного окна  $F''$ , с другой – по статическому давлению  $P''$ , т.е. по сопротивлению сети. Простейшая схема транспортера приведена на рис. 1.

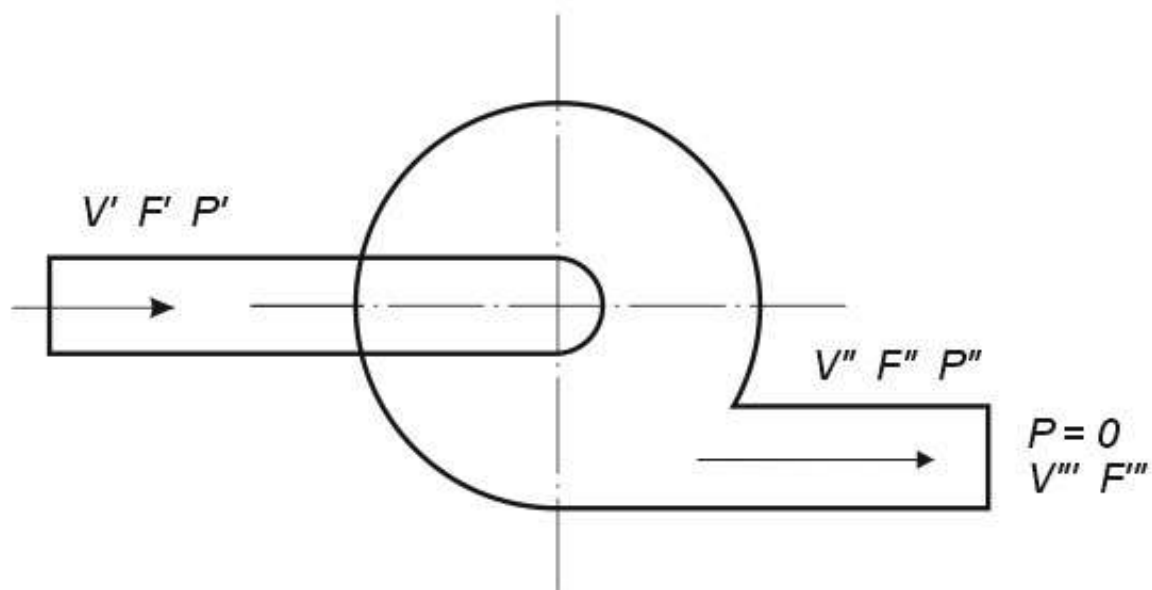


Рисунок 1. Схема пневматического транспортера

В самом деле – через сеть, например, трубу для транспортирования сена, должен проходить определенный объём воздуха, который обладает некоторым запасом статического давления для его постепенного расхода, так как скорость остается постоянной, соответственно диаметру трубы. Следовательно, решающее значение имеет отношение потенциальной и кинетической энергии в выходной трубе.

$$\text{Очевидно } v^{\cdot} = \frac{V}{F^{\cdot}}, \quad v^{\cdot\cdot} = \frac{V}{F^{\cdot\cdot}}, \quad v^{\cdot\cdot\cdot} = \frac{V}{F^{\cdot\cdot\cdot}},$$

где  $V$  – расход воздуха м<sup>3</sup>/с.

Кинетическая энергия в 1м<sup>3</sup> воздуха, проходящего через трубу

$$\frac{mv^2}{2V} = \frac{P \cdot V \cdot v^2}{2V} = \frac{Pv^2}{2} = \frac{\gamma^2}{2g},$$

где  $\gamma$  – удельный вес воздуха.

Эта энергия должна преодолеть сопротивление во всасывающей трубе, обратное статическому давлению  $P$ .

Мы можем написать, что

$$\frac{\gamma^{\cdot 2}}{2g} = -P, \quad \frac{v^{\cdot 2}}{2g} = \frac{V^2}{2gF^{\cdot 2}} = -\frac{P}{\gamma}$$

где  $-\frac{P}{\gamma}$  давление воздуха в м.возд.ст. (пьезометрический напор)

Кроме того, при условии, что потери равны нулю

$$\frac{v^{\cdot\cdot 2}}{2g} + \frac{P^{\cdot\cdot}}{\gamma} = \frac{v^{\cdot\cdot\cdot 2}}{2g}$$

$$\text{Следовательно} \quad \frac{V^2}{2gF^{\cdot 2}} + \frac{P^{\cdot\cdot}}{\gamma} = \frac{V^2}{2gF^{\cdot\cdot 2}}$$

Мы можем написать

$$\frac{\text{динамический напор}}{\text{полный напор}} = \frac{\text{кинетическая энергия}}{\text{полная энергия}} = \frac{\frac{\gamma^{\cdot 2}}{2g}}{\frac{\gamma^{\cdot\cdot\cdot 2}}{2g} + P^{\cdot\cdot}} = \frac{v^{\cdot\cdot\cdot 2}}{v^{\cdot\cdot 2}} = \frac{\left(\frac{V}{F^{\cdot\cdot}}\right)^2}{\left(\frac{V}{F^{\cdot\cdot\cdot}}\right)^2} = \frac{F^{\cdot\cdot\cdot 2}}{F^{\cdot 2}} = K^2$$

$$\frac{\text{статический напор}}{\text{полный напор}} = \frac{\frac{\gamma^{\cdot\cdot\cdot 2}}{2g} - \frac{\gamma^{\cdot 2}}{2g}}{\frac{\gamma^{\cdot\cdot\cdot 2}}{2g}} = 1 - \frac{v^{\cdot 2}}{v^{\cdot\cdot\cdot 2}} = 1 - K^2.$$

$$\frac{\text{статический напор}}{\text{динамический напор}} = \frac{\text{статическое давление}}{\text{динамическое давление}} = \frac{P''}{\frac{\rho v'^2}{2g}} = \frac{\frac{\rho v''^2}{2g}}{\frac{\rho v'^2}{2g}} = \frac{v''^2}{v'^2} - 1 = \frac{1}{K^2} - 1 = \frac{1 - K^2}{K^2}.$$

Таким образом, соотношение площадей выходной трубы  $F''$  и окна  $F'$ , определяются независимо от системы вентиляторов, отношением между статическим, динамическим и полным напором. Это, в свою очередь, помогает точнее определить потери энергии в трубопроводе и выбрать наиболее рациональную схему, отличающуюся наивыгоднейшими режимами работы.

Например, если даны  $V$ ,  $P''$  и  $K$ , то

$$F'' = \frac{\gamma}{K} \sqrt{\frac{\gamma}{2g} \cdot \frac{1 - K^2}{P''}}$$

Конкретный расчет пневматического транспортера начинается с определения расхода воздуха ( $Q_\phi$ ) по выражению

$$Q_\phi = \frac{Q}{\rho_\phi \cdot K_m}$$

где  $Q$  – производительность транспортера, т/ч,  
 $\rho_\phi$  – плотность воздуха,  
 $K_m$  – коэффициент массовой концентрации смеси,  
 тогда диаметр трубопровода

$$d = \sqrt{\frac{\phi Q_\phi}{\pi V_\phi}}$$

где  $V_\phi$  – скорость движения воздуха.

Динамический напор, расходуемый на преодоление сил инерции материала и воздуха, при отношении скоростей груза и воздуха  $k_v$

$$p_D = \frac{\rho_\phi v_\phi^2}{2} (1 + k_v^2 k_m)$$

Статический напор расходуется на преодоление трения в трубопроводе –  $p_T$ , местных сопротивлений –  $p_m$ , и подъема на высоту –  $h(p_h)$ .

Таким образом

$$p_c = p_T + p_m + p_h = k_c \frac{l_1 + l_2 + h}{d} \frac{\rho_\phi v_\phi^2}{2} (1 + k_\kappa k_m) + \\ + \sum k_i \frac{\rho_\phi v_\phi^2}{2} (1 + k_\kappa k_m) + k_m \rho_\phi g h$$

где  $l_1, l_2, h$  и  $d$  – размеры пневматического транспортера,  
 $K_\kappa$  – коэффициент, зависящий от скорости воздуха,  
 $K_c$  – коэффициент сопротивления трению.

Полный напор (рабочее давление):

$$p = p_d + p_c$$

По требуемому рабочему давлению и необходимому расходу воздуха выбирают типоразмер воздухоудвигного устройства, мощность двигателя для его привода определяют по формуле

$$P = \frac{Q_v p}{\eta_1 \eta_2 \eta_3}$$

## 1. 10 Лекция №10 (2 часа).

**Тема:** «Микроклимат животноводческих зданий и помещений»

### 1.10.1 Вопросы лекции:

**Основные показатели микроклимата**

### 1.10.2 Краткое содержание вопросов:

#### Основные показатели микроклимата

Для обеспечения оптимального микроклимата необходимо рассматривать здание как единую энергетическую систему, включающую в себя отопление, вентиляцию и теплотехнические особенности ограждающих конструкций.

Рассмотрим схему (рис. 26) тепло- и влагообменных процессов в животноводческом помещении. Из этой схемы видно, что энергетическое состояние воздушной среды в животноводческих помещениях характеризуется взаимодействием в основном трех систем: энергетического обмена в организме животных; тепло- и влагообменных процессов, происходящих на ограждающих конструкциях (покрытиях, стенках, окнах, полях); энергетических процессов, характеризующихся действием отопительно-вентиляционных систем. Каждая из этих систем имеет свои закономерности в образовании и распространении составляющих тепло- и влагообменных процессов в животноводческом помещении.

Уравнения теплового баланса в животноводческом помещении имеют следующий вид:

для холодного периода года

$$Q_{жс} + Q_{пр} - Q_{огр} = Q_{уд},$$

для теплого периода года

$$Q_{жс} + Q_{пр} + Q_{с.р.} = Q_{уд}$$

где  $Q_{жс}$  – теплота, выделяемая животными, кДж;  $Q_{пр}$  – количество теплоты, поступающей с приточным подогретым воздухом, кДж;  $Q_{огр}$  – теплопотери через ограждающие конструкции, стены, окна, ворота, покрытия, полы, кДж;  $Q_{уд}$  – количество теплоты, удаляемой с отсасываемым воздухом, кДж;  $Q_{с.р.}$  – теплота, поступающая через стеклянные поверхности ограждений от солнечной радиации, кДж.

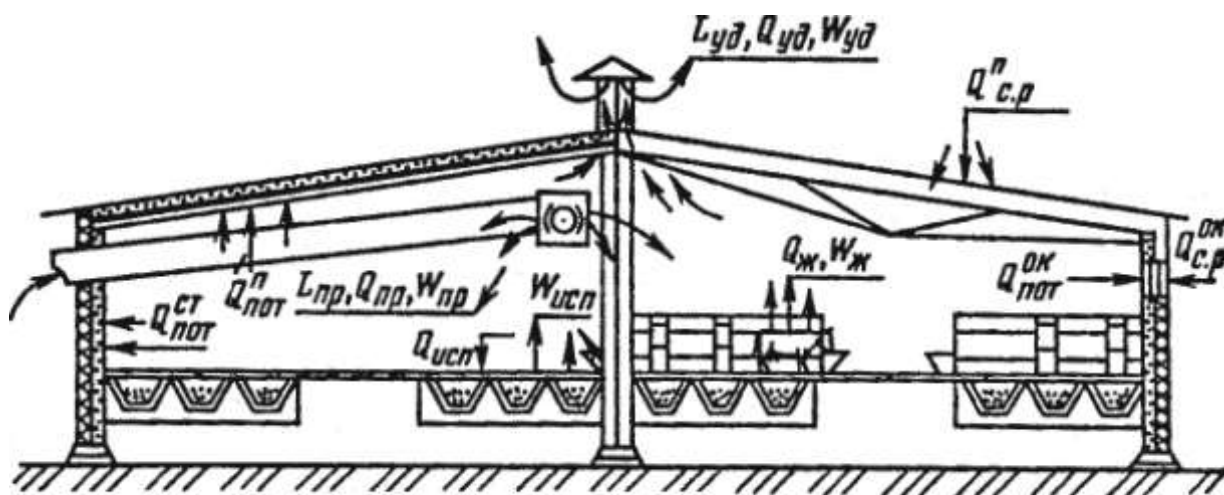


Рисунок 26. Схема энергетического баланса животноводческого помещения:  $L_{yd}$ ,  $W_{yd}$ ,  $Q_{yd}$  – соответственно количество воздуха, влаги, теплоты, удаляемое из помещения системой вентиляции;  $L_{pr}$ ,  $W_{pr}$ ,  $Q_{pr}$  – соответственно количество воздуха, влаги, теплоты, подаваемое в помещение приточной системой;  $Q^n_{nom}$ ,  $Q^n_{nom}$ ,  $Q^{ок}_{nom}$  – теплопотери через покрытия, стены, окна;  $Q_{исп}$ ,  $W_{исп}$  – количество теплоты и влаги в процессе испарения с открытой водной и смоченной поверхностей;  $Q^n_{c.p}$ ,  $Q^{ок}_{c.p}$  – количество теплоты, поступающее в помещение от солнечной радиации соответственно через покрытия и окна;  $Q_{жс}$ ,  $W_{жс}$  – количество теплоты и влаги, выделяемое животными.

Теплота, кДж, выделяемая животными в течение 1 ч,

$$Q_{жс} = k_T F_{жс} (t_{жс} - t_o) m,$$

где  $k_T$  – коэффициент теплоотдачи, кДж/(м<sup>2</sup>·ч·°C);  $F_{жс}$  – площадь поверхности тела животного, м<sup>2</sup>;  $t_{жс}$ ,  $t_o$  – температура соответственно поверхности тела животного и окружающего воздуха, °C;  $m$  – число животных в помещении.

Тепловые потери, кДж/ч, помещения

$$Q_{огр} = \Sigma k F (t_v - t_n),$$

где  $k$  – коэффициент теплоотдачи материала ограждений помещения, кДж/(м<sup>2</sup>·ч·°C);  $F$  – площадь ограждений, м<sup>2</sup>;  $t_v$ ,  $t_n$  – температура внутри и снаружи помещения, °C (значения берут из таблиц для соответствующей зоны страны).

Теплота, кДж, удаляемая из помещения,

$$Q_{yd} = c L \gamma (t_v - t_n),$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воздуха, с = 0,051 кДж/(кг·°C);  $L$  – часовой воздухообмен, м<sup>3</sup>/ч;  $\gamma$  – плотность воздуха при  $t_v$ , кг/м<sup>3</sup>.

В уравнение баланса по влаге входят влаговыделения  $W_{жс}$  от животных, а также влага  $W_{исп}$ , испаряющаяся со смоченных поверхностей и открытых водных поверхностей.

Смоченной поверхностью в животноводческом помещении считают поверхность глубокой подстилки, вертикальные стены навозного лотка до водяного зеркала, площадь помещения на расстоянии 50 см от навозного лотка, поверхность влажного корма.

В случае применения гидросмыва навоза за смоченную поверхность принимают всю поверхность, подвергаемую гидросмыву. При содержании животных на решетчатых полах всю площадь этого пола считают смоченной поверхностью.

За открытую поверхность принимают водную поверхность поилок и навозных лотков.

На создание в помещении определенного влажностного баланса в значительной степени влияет система приточно-вытяжной вентиляции, следует учитывать влагу  $W_{пр}$  и

$W_{уд}$ , приносимую приточным и уносимую удаляемым воздухом. Тогда уравнение влажностного баланса запишется так:

$$W_{жс} + W_{исп} + W_{пр} = W_{уд}.$$

Воздухообмен – наиболее важный фактор регулируемого микроклимата. При недостаточном воздухообмене скапливаются вредные газы и усиливается образование конденсата (сырости), повышается температура. Слишком большой воздухообмен вызывает сквозняки и приводит к увеличению потерь теплоты животными.

Воздухообмен для холодного периода года рассчитывают по влаге и обязательно проверяют по предельно допустимой концентрации  $CO_2$  в воздухе помещения.

Часовой воздухообмен по содержанию углекислого газа и влаги,  $м^3/ч$ :

$$L_{CO_2} = \frac{Cm}{C_1 - C_2};$$

$$L_W = \frac{Wm\beta}{W_1 - W_2},$$

где  $C$  – количество углекислого газа, выделяемого одним животным, л/ч;  $m$  – число животных;  $C_1$  – допустимое количество углекислого газа в воздухе помещения, л/м<sup>3</sup> ( $C_1 = 1,5$  л/м<sup>3</sup>);  $C_2$  – содержание углекислого газа в приточном воздухе, л/м<sup>3</sup> ( $C_2 = 0,3 \dots 0,4$  л/м<sup>3</sup>);  $W$  – количество водяного пара, выделяемое одним животным в течение часа, г/ч;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий испарение влаги с пола, кормушек, автопоилок и т.д.;  $W_1$  – допустимое количество водяного пара в воздухе помещения, г/м<sup>3</sup> (абсолютная влажность);  $W_2$  – средняя абсолютная влажность приточного воздуха, г/м<sup>3</sup> ( $W_2 = 3,2 \dots 3,3$  г/м<sup>3</sup>).

На основании полученных результатов для дальнейших расчетов выбирают максимальный воздухообмен.

Кратность часового воздухообмена, ч<sup>-1</sup>,

$$K = L/V,$$

где  $L$  – часовой воздухообмен по углекислому газу или по влаге, м<sup>3</sup>/ч;  $V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Кратность часового воздухообмена для молодняка раннего возраста и маточного поголовья допускается не более 3, для остальных животных – не более 5.

При кратности воздухообмена  $K < 3$  выбирают естественную вентиляцию, при  $K = 3 \dots 5$  – принудительную вентиляцию без подогрева подаваемого воздуха и при  $K > 5$  – принудительную вентиляцию с подогревом подаваемого воздуха.

При естественной вентиляции воздухообмен происходит вследствие разности температур внутри и снаружи помещения. Воздух в помещении перемещается по каналу снизу вверх.

Сечение вытяжных и приточных каналов м<sup>2</sup>,

$$F_{\epsilon} = \frac{L}{3600v},$$

где  $v$  – скорость движения воздуха в канале, м/с,

Здесь

$$v = 2,2 \sqrt{\frac{h(t_1 - t_2)}{273}},$$

где  $h$  – высота канала, м ( $h = 3$  м);  $t_1$  и  $t_2$  – разность температур внутреннего и наружного воздуха, град.

Число вытяжных каналов



$$n_k = \frac{Fv}{f},$$

где  $f$  – площадь сечения одного канала,  $\text{м}^2$ .

Площадь сечения вытяжных каналов принимают равной 0,25; 0,36; 0,5; 1  $\text{м}^2$  и более, а приточных – 0,04 и 0,06  $\text{м}^2$ .

В принудительной вентиляционной системе поступление свежего воздуха обеспечивают приточные вентиляционные установки. Применяют вентиляторы низкого (до 980 Па) и среднего (2940 Па) давления.

Расчет принудительной вентиляционной системы ведут из условия, что она должна работать периодически, поэтому подача системы должна быть в 2...3 раза больше расчетной величины воздухообмена, т.е.

$$L_{B.C} = (2...3)L.$$

Вентилятор подбирают по требуемому воздухообмену  $L$  и напору, необходимому для преодоления сопротивления движению воздуха в канале вентиляционной системы.

Подача вентилятора,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,

$$Q_B = \frac{L_{B.C}}{n_k},$$

где  $n_k$  – число вытяжных каналов.

При подаче  $Q_B < 8000 \text{ м}^3/\text{ч}$  выбирают схему с одним вентилятором, при  $Q_B > 8000 \text{ м}^3/\text{ч}$  – с несколькими, при этом объемная подача одного вентилятора не должна превышать 8000  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

## 1. 11 Лекция №11 (2 часа).

**Тема:** «Удаление и транспортировка навоза»

### 1.11.1 Вопросы лекции:

**Определение производительности фрезерующих рабочих органов погрузчика навоза**

### 1.11.2 Краткое содержание вопросов:

**Определение производительности фрезерующих рабочих органов погрузчика навоза**

Применение погрузчиков непрерывного действия для погрузки навоза позволяет выполнять эту операцию с большей производительностью, меньшими затратами энергии, получать измельченную и подготовленную к внесению в почву массу. Основным рабочим органом погрузчика является питатель, который отделяет и захватывает навоз из бурта и затем перемещает его к отгрузочному транспортеру.

Одним из важнейших показателей эффективности питателя и погрузчика является производительность. Для определения производительности питателей необходимо исследовать кинематические параметры их движения. К наиболее важным параметрам, которые можно получить на основании кинематического анализа, относится площадь боковой проекции и объем стружки. Рассмотрим кинематику движения винтового, шнекофрезерного, лопастного и фрезерношнекового питателей.

Траектория движения точки на режущем зубе винтового и шнекофрезерного питателей (рис.32, а, 33, а), описывается следующей системой параметрических уравнений:

$$\begin{aligned}x &= R \cos(\omega t) + v_{\pi} t, \\ y &= R \sin(\omega t),\end{aligned}\tag{1}$$

где  $x$  и  $y$  – координаты точки рабочего органа в плоско вертикальной системе координат;

$R$  – радиус вращения некоторой точки  $A$  рабочего органа, м;  
 $\omega$  – угловая скорость вращения точки рабочего органа, рад/с;  
 $v_{\pi}$  – поступательная скорость движения рабочего органа, м/с;  
 $t$  – время с момента начала движения, с.

Каждая точка на режущей кромке лопасти ротора лопастного питателя движется в пространственной системе координат (рис. 32, б) и поэтому система включает в себя три параметрических уравнения:

$$\left. \begin{aligned}x &= x_0 + v_{\pi} t + \cos \alpha R \cos(\varphi_0 + \omega t), \\ y &= y_0 + R \sin(\varphi_0 + \omega t), \\ z &= z_0 + \sin R \cos(\varphi_0 + \omega t),\end{aligned} \right\}\tag{2}$$

где  $x_0, y_0, z_0$  – начальные координаты точки;  
 $\alpha$  – угол наклона траектории движения к горизонтальной плоскости;  
 $\varphi_0$  – начальный угол положения лопасти.

Особенность движения точки фрезерного барабана фрезерношнекового питателя (рис. 32, в) заключается в том, что относительное и переносное движения являются вращательными. Система параметрических уравнений, описывающих данное движение, имеет такой вид:

$$\left. \begin{aligned}x &= l_p \cos \theta + r_{\phi p} \cos \varphi, \\ y &= l_p \sin \theta + r_{\phi p} \sin \varphi,\end{aligned} \right\}\tag{3}$$

где  $l_p$  – длина рычага, м;  
 $\theta = \theta_0 + \omega_p t$  – угол поворота рычага;  
 $\omega_p$  – угловая скорость рычага, рад/с;  
 $\varphi = \varphi_0 + \omega_{\phi p} t$  – угол поворота фрезы;  
 $r_{\phi p}$  – радиус фрезерного барабана, м;  
 $\omega_{\phi p}$  – угловая скорость фрезерного барабана, рад/с.

Площадь боковой проекции стружки, отделяемой каждым из рабочих элементов (зубом, лопастью), – это площадь, заключенная между двумя соседними витками траектории движения (рис. 33):

$$A = \pm \int_0^T y(t) x'(t) dt\tag{4}$$

при условии

$$x = x(t), \quad y = y(t), 0 \leq t \leq T$$

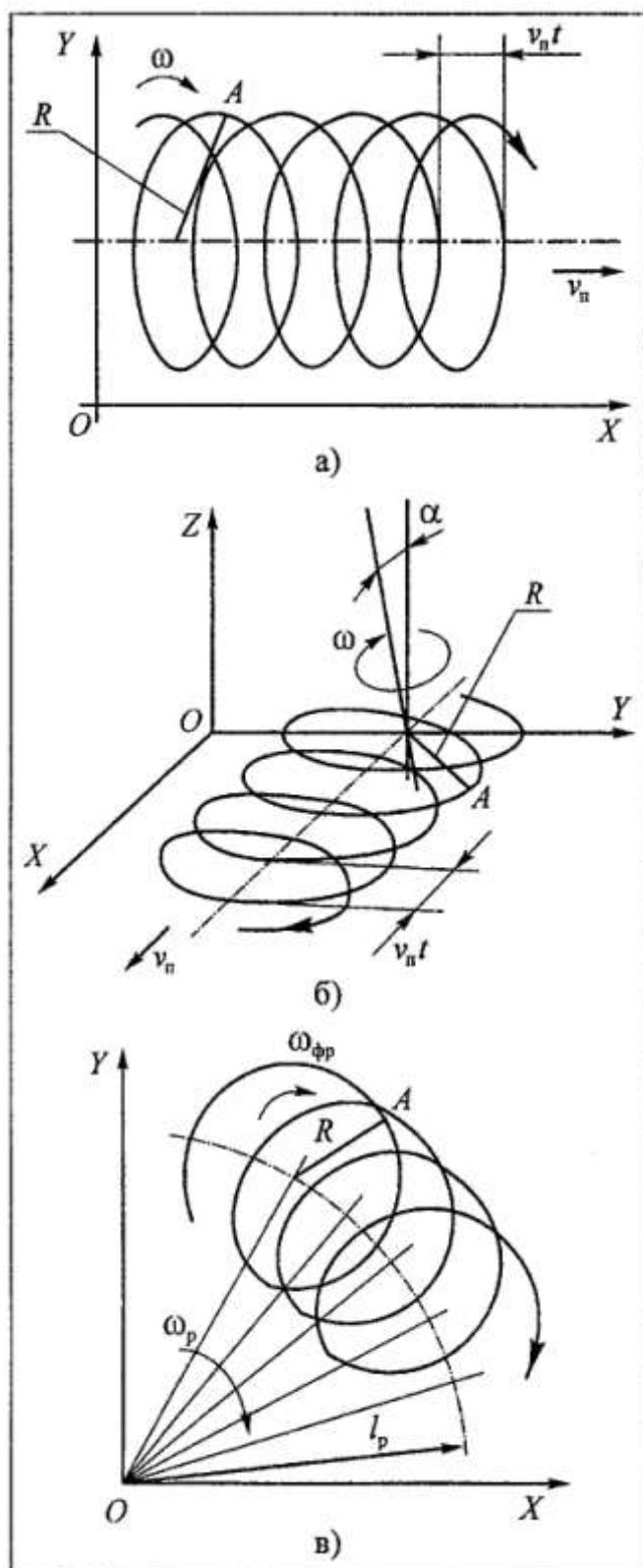


Рисунок 32. Траектория движения точки рабочего органа винтового и шнекофрезерного (а), лопастного (б) и фрезерношнекового (в) питателей.

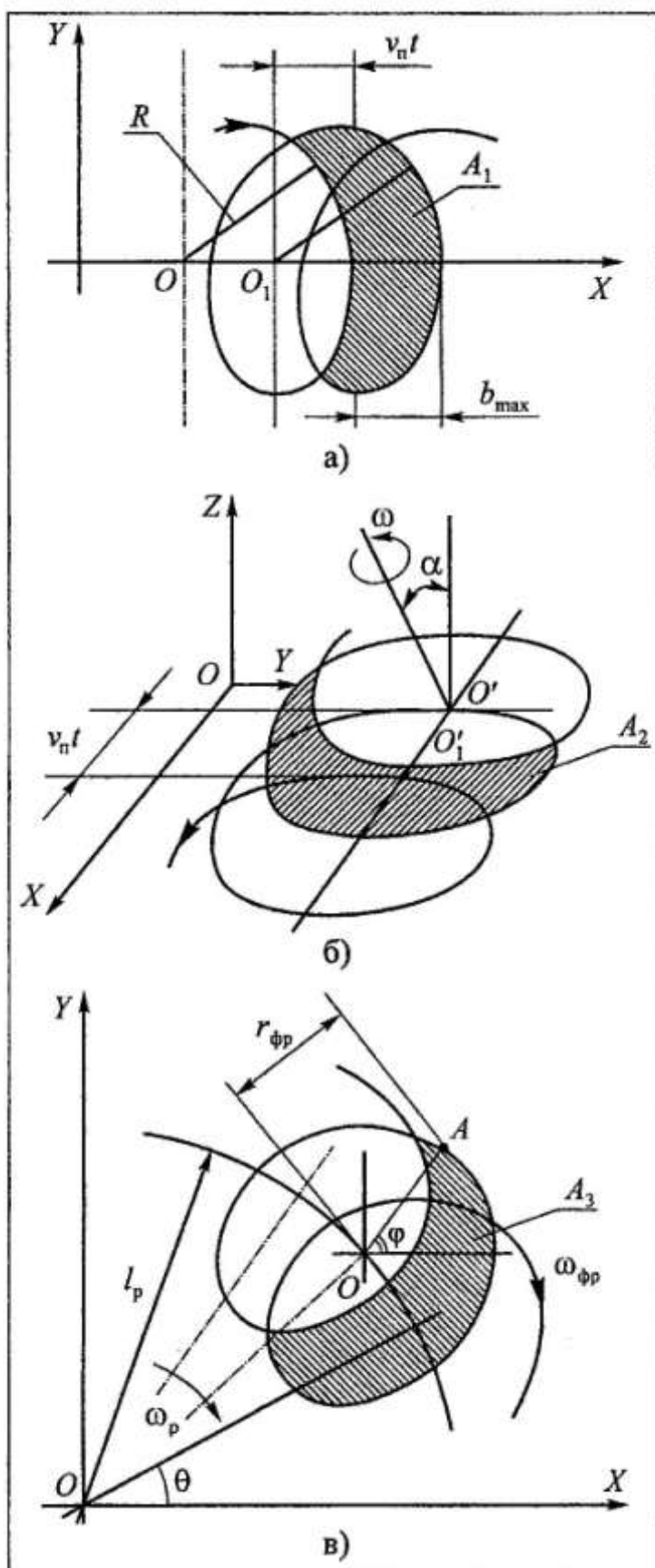


Рисунок 33. Схемы к определению площади боковой проекции стружки винтового и шнекофрезерного (а), лопастного (б) и фрезерношнекового (в) питателей.

Знак «плюс» в (4) выбирают в том случае, если кривая положительно ориентирована, т.е. при обходе кривой область остается слева, знак «минус» в другом случае.

Для винтового и шнекофрезерного питателя площадь боковой проекции стружки (рис. 33, а) с учетом (1) и (4)

$$A_1 = - \int_0^T (-R\omega \sin(\omega t) + v_{\Pi}) R \sin(\omega t) dt = \int_0^T (-R^2 \omega \sin^2(\omega t) + v_{\Pi} R \sin(\omega t)) dt,$$

где  $x'(t) = (-R\omega \sin(\omega t) + v_n)$  – первая производная от координаты  $x$  по времени.

После решения этого интеграла получим:

$$A_1 = R^2 \frac{\omega t}{2} - \frac{R^2}{4} \sin(2\omega t) + \frac{v_{\Pi} R}{\omega} \cos(\omega t),$$

при этом  $0 < t < 1/(2n)$ , где  $n$  – частота вращения рабочего органа,  $c^{-1}$ .

Для лопастного питателя площадь боковой проекции стружки заштрихована на рис. 33, б. С учетом системы (2)

$$A_2 = \pm \int_{t_1}^{t_2} y(t) x'(t) dt = \pm \int_{t_1}^{t_2} R \sin(\varphi_0 + \omega t) [v_{\Pi} - \cos R \omega \sin(\varphi_0 + \omega t)] dt,$$

где  $x'(t) = v_{\Pi} - \cos \alpha R \omega \sin(\varphi_0 + \omega t)$ ;

$t_1, t_2$  – время начала движения и его окончания.

Решив это уравнение, получим выражение для определения площади:

$$A_2 = \frac{v_{\Pi} R}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{R^2 \omega \cos \alpha}{2} t - \frac{R^2 \cos \alpha}{4} \sin(2\omega t).$$

Для фрезерношнекового питателя с учетом системы (3) первая производная от координаты  $x$  по времени будет иметь такой вид:

$$x'(t) = -l_p \omega_p \sin \theta - r_{\phi p} \omega_{\phi p} \sin \varphi.$$

Тогда

$$\begin{aligned} y(t) x'(t) &= -(l_p \omega_p \sin \theta + r_{\phi p} \omega_{\phi p} \sin \varphi) \times \\ &\times (l_p \sin \theta + r_{\phi p} \sin \varphi) = -[l_p^2 \omega_p \sin^2 \theta + r_{\phi p}^2 \omega_{\phi p} \sin^2 \varphi + \\ &+ l_p r_{\phi p} (\omega_p + \omega_{\phi p}) \sin \theta \sin \varphi]. \end{aligned}$$

Преобразовав последнее выражение и подставив его под знак интеграла (4) и решив данный интеграл, найдем площадь боковой проекции стружки, отделяемой ножом фрезерного барабана (рис. 33,в):

$$\begin{aligned} A_3 &= [(l_p^2 \omega_p + r_{\phi p}^2 \omega_{\phi p}) / 2] t - (l_p^2 \sin(2\theta)) / 4 - \\ &- (r_{\phi p}^2 \sin(2\varphi)) / 4 + [l_p r_{\phi p} (\omega_p + \omega_{\phi p}) \sin(\theta - \\ &- \varphi)] / [2(\omega_p - \omega_{\phi p})] - l_p r_{\phi p} \sin(\theta + \varphi) / 2. \end{aligned}$$

Полученные выражения для площади боковой проекции стружки позволяют определить объём навоза, отделяемый от бурта рабочими органами погрузчиков.

Для винтового и шнекофрезерного питателей объём стружки, отделяемый от бурта одним зубом:

$$V_1 = \left[ R^2 \frac{\omega t}{2} - \frac{R^2}{4} \sin(2\omega t) + \frac{v_{\Pi} R}{\omega} \cos(\omega t) \right] k_o b,$$

где  $k_o$  – коэффициент заполнения объёма;  
 $b$  – ширина зуба, м.

Объём навоза, отделяемый одной лопастью лопастного питателя,

$$V_2 = \left[ \frac{v_{II} R}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{R^2 \omega \cos \alpha}{2} - \frac{R^2 \cos \alpha}{4} \sin(2\omega t) \right] k_o H,$$

где  $H$  – высота бурта, захватываемого лопастью.

Для фрезерношнекового питателя объём, отделяемый одним ножом,

$$V_3 = A_3 b_3 = b_3 [(l_p^2 \omega_p + r_{\phi p}^2 \omega_{\phi p}) / 2] t - (l_p^2 \sin(2\theta)) / 4 - (r_{\phi p}^2 \sin(2\varphi)) / 4 + \\ + [l_p r_{\phi p} (\omega_p + \omega_{\phi p}) \sin(\theta - \varphi)] / [2(\omega_p - \omega_{\phi p})] - l_p r_{\phi p} \sin(\theta + \varphi) / 2] k_o,$$

где  $b_3$  – ширина ножа фрезерного барабана;

$t$  – время движения ножа в бурте навоза.

Производительность, т.е. количество навоза, отделяемого и захватываемого питателем в единицу времени,

$$Q = \frac{m}{t} = \frac{\rho V}{t},$$

где  $m$  – масса отделяемого и захватываемого навоза, кг;

$t$  – время захвата массы  $m$  навоза, с;

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

$V$  – объём стружки, м<sup>3</sup>.

Производительность винтового и шнекофрезерного питателей с учетом числа зубьев  $z_3$ , одновременно участвующих в отделении навоза от бурта,

$$Q = \left( R_p^2 \frac{\omega t}{2} - \frac{R_p^2}{4} \sin(2\omega t) + \frac{v_{II} R_p}{\omega} \cos(\omega t) \right) \times \frac{k_o b \rho z_3 \omega}{2\pi},$$

где  $t = 2\pi/\omega$  – время отделения и захвата груза одним зубом;

$R_p$  – радиус, по которому установлены режущие зубья.

Производительность лопастного питателя

$$Q_{\lambda} = \frac{\rho z_{\lambda} \omega k_o H}{2\pi} \left[ \frac{v_{II} R_p}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{R_p^2 \omega \cos \alpha}{2} t - \frac{R_p^2 \cos \alpha}{4} \sin(2\omega t) \right],$$

где  $z_{\lambda}$  – число лопастей ротора лопастного питателя в массиве груза в момент времени  $t$ ;

$R_p$  – радиус ротора;

$\omega$  – угловая скорость вращения лопастей.

С учетом числа  $z_n$  ножей в массиве груза производительность фрезерношнекового питателя,

$$Q_{\phi p} = \frac{\rho b_3 z_n \omega_{\phi p} k_o}{2} [(l_p^2 \omega_p + R_{\phi p}^2 \omega_{\phi p} / 2] t - l_p^2 \sin(2\theta) / 4 - (R_{\phi p}^2 \sin(2\varphi)) / 4 + \\ + [l_p R_{\phi p} (\omega_p + \omega_{\phi p}) \sin(\theta - \varphi)] / [2(\omega_p - \omega_{\phi p})] - l_p R_{\phi p} \sin(\theta - \varphi) / 2].$$

Полученные математические выражения для определения производительности фрезерующих рабочих органов погрузчиков непрерывного действия. Выражения учитывают характер движения рабочих органов, кинематические и конструктивные параметры, а также физико-механические свойства навоза.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### 2.1 Лабораторная работа 1 (ЛР-1). (2 часа).

**Тема:** «Экспериментально-теоретическое определение модуля помола»

**2.1.1 Цель работы:** научиться определять теоретическим и экспериментальным путем модуль помола.

#### 2.1.2 Задачи работы:

1. Описать назначение молотковых универсальных дробилок.
2. Начертить схему одной из изучаемых дробилок.
3. Кратко описать устройство, процесс работы и технологические характеристики дробилок.
4. Провести эксперимент по определению модуля помола

#### 2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Классификатор Макарова
2. Зерновая дробилка ЗТ-5
3. Весы ВЛР-200 аналитические или Весы ВУГУ ВНБ

#### 2.1.4 Описание (ход) работы:

О качестве продукта, полученного при измельчении судят по результатам ситового анализа, выполняемого на решётном классификаторе. Показатель, с помощью которого можно оценить тонкость помола в соответствии с ГОСТ 8770-58, является средневзвешенный диаметр частиц (модуль)  $M$ , определяемый по формуле:

$$M = \frac{3,5G_3 + 2,5G_2 + 1,5G_1 + 0,5G_0}{100},$$

где  $G_0$  – остаток на сборном дне, г;

$G_1, G_2, G_3$  – остатки на ситах с отверстиями диаметром соответственно 1,2,3 мм, г.

Помол считается:

- тонким при  $M = 0,2 \dots 1$  мм;
- средним при  $M = 1 \dots 1,2$  мм, г;
- крупным при  $M = 1,8 \dots 2,6$  мм.

О работе дробилки можно судить по степени измельчения зерна, определяемой из выражения:

$$\lambda = \frac{D_{\text{э}}}{\rho_{\text{ср}}},$$

где  $D_{\text{э}}$  – диаметр шара объемом, равным объёму одного зерна, называемый эквивалентным диаметром зерна.

$\rho_{\text{ср}}$  – средневзвешенный диаметр частиц измельченного зерна, мм.

По данным С.В.Мельникова, для расчёта можно принять значение  $D_{\text{э}}$  для ячменя равным 4,2 мм; овса – 3,7 мм; ржи – 3,3 мм; пшеницы – 3,8 мм. Определить удельную площадь поверхности зерна из-за сложности его формы довольно затруднительно. Поэтому определение удельной площади поверхности зерна основывается на использовании понятия эквивалентного диаметра  $D_{\text{э}}$ .

Определяют эквивалентный диаметр зерна следующим образом.

Из партии зерна отбирают навеску массой 0,5 кг, руководствуясь методикой ГОСТ 3040-55 «Зерно. Методы определения качества».

Из пробы выделяют две навески зерна по 5 г и от каждой их них отобрать по 100 зёрен. Взвешивают отобранные 100 зёрен и определяют среднюю массу одного зерна.

В наполненный керосином мерный цилиндр (в мензурку) помещают 100 отобранный зёрен и по разнице отметок уровня керосина до и после погружения зёрен находят средний объем зерна  $V_3$ , см<sup>3</sup>.

Опыт по определению одного зерна  $V_3$  повторяют ещё на другой партии из 100 зёрен и для дальнейших расчётов принимают среднее значение из двух определений.

По полученного значению объёма зерна вычисляют эквивалентный диаметр зерна  $D_{\text{э}}$  по формуле:

$$D_{\text{э}} = \sqrt[3]{\frac{6V_3}{\pi}} = 1,24\sqrt[3]{V_3}.$$

По полученному значению  $D_{\text{э}}$  определяют удельную площадь поверхности  $S_H$ , см<sup>2</sup>/г, исходного (начального) зернового материала по формуле:

$$S_H = \frac{6}{\rho D_{\text{э}}},$$

где  $\rho$  - плотность зерна, г/см<sup>3</sup>.



## Определение удельного расхода энергии на процесс дробления зерна

Наряду с определением удельного расхода энергии на измельчение единицы зерна, представляет интерес и значение удельного расхода энергии на образование новой поверхности при измельчении зерна.

В этом случае принимают во внимание результативность процесса, качество дробления.

В этом случае принимают во внимание результативность процесса качество дробления. Поэтому для определения затрат на процесс дробления рассчитывают расход полезной энергии  $A$ , Дж/м<sup>2</sup>, на образование единицы новой поверхности по формуле:

$$A = \frac{P_D - P_{XX}}{Q \Delta S},$$

где  $P_D$  – мощность на валу ротора дробилки при дроблении зерна, кВт;  $P_D = 30$  кВт;

$P_{XX}$  – мощность холостого хода дробилки;

$Q$  – производительность дробилки, кг/с;

$\Delta S$  – приращение удельной площади поверхности, м<sup>2</sup>/кг.

Значение  $P_D$  принимаем согласно технической характеристики;  $P_{XX}$  принять 15% установленной мощности двигателя.

Производительность дробилки  $Q$ , кг/с, определяют по формуле:

$$Q = \frac{G}{t},$$

где  $G$  – масса измельчённого за время опыта зерна, кг;

$t$  – продолжительность опыта, с.

Приращение площади поверхности, достигаемое при измельчении, можно принять на основании данных таблицы 1.

Таблица 1     *Степень измельчения и удельная площадь поверхности ячменной дерти при  $D_0 = 4,2$  мм.*

Размол	Средневзвешенный диаметр частиц $d_{cp}$ , мм	Степень измельчения $\lambda$	Приращение удельной площади поверхности $\Delta S$ , м <sup>2</sup> /кг
Очень мелкий	0,2	21	21,9
Мелкий	1	4,2	3,3
Средний	1,8	2,3	1,4
Крупный	2,6	1,6	0,7

Для энергетической характеристики процесса дробления следует определить величину удельного расхода полезной энергии на единицы массы  $A_m$ , Дж/кг, по формуле:

$$A_m = \frac{P_d - P_{xx}}{Q}$$

где – удельный расход энергии на единицу массы.

Энергоёмкость процесса измельчения с учётом степени измельчения  $A_c$ , кВт·ч/т, определяется по формуле:

$$A_c = \frac{P_{\pi}}{Q\lambda},$$

где  $P_{\pi}$  – полезная мощность, расходуемая на измельчение.

Удельный расход полезной энергии на единицу массы измельчаемого зерна  $A_{изм}$ , Дж/кг, можно рассчитать аналитическим путём по формуле, предложенной С.В.Мельниковым:

$$A_{изм} = C_1 \log \left[ \frac{\lambda^2}{\lambda - 1} \right] - C_2 \left[ \frac{\lambda}{\lambda - 1} \right]$$

Коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$  определяются опытным путём, для ячменя они могут быть приняты:

$$C_1 = (10...13) \cdot 10^3 \text{ Дж/кг};$$

$$C_2 = (6...9) \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}.$$

По результатам опытов можно построить гистограмму распределения дерти (рис. 1).

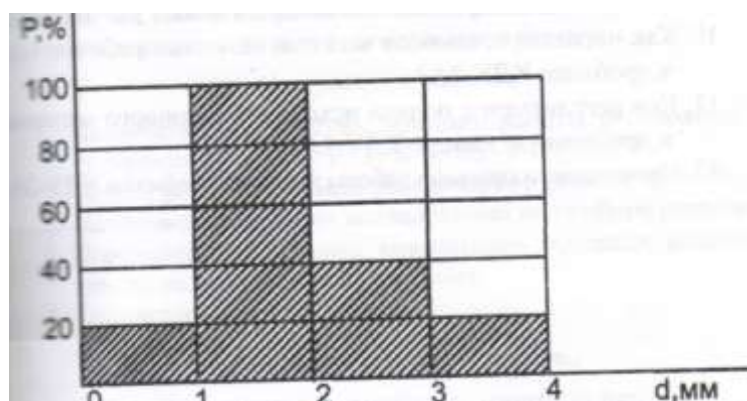


Рис. 1 Гистограмма распределения для измельчённого зерна

### ***Контрольные вопросы***

1. Из каких основных узлов состоит безрешётная дробилка ДБ-5?
2. Чем различаются дробилки ДБ-5-1 и ДБ-5-2?
3. Опишите технологический процесс работы дробилки.
4. Опишите технологию дробления зерна.
5. Как регулируют степень измельчения кормов?
6. Как часто переставляют молотки на новые рабочие грани и полностью их заменяют в дробилке ДБ-5?
7. Назовите основные узлы дробилки КДУ-2А.
8. Какой должен быть зазор между ножами и противорежущей пластиной в измельчающем аппарате КДУ-2А?
9. Почему молотки дробильного аппарата имеют два отверстия?
10. Как часто переставляют молотком на новые рабочие грани в дробилке КДУ-2А?
11. Как регулируется подача исходного зернового материала в дробильную камеру КДУ-2А?
12. Назначение и принцип работы циклопа дробилки КДУ-2А.
13. Методика определения степени помола.

## **2.2 Лабораторная работа 2 (ЛР-2). (2 часа).**

**Тема:** Экспериментально-теоретическое исследование измельчения лезвием.  
Двухопорное резание лезвием

**2.6.1 Цель работы:** Провести экспериментальные исследования процесса резания лезвием грубых кормов. Теоретически обосновать процесс измельчения.

### **2.6.2 Задачи работы:**

- 1.Объяснить назначение измельчителей грубых кормов ИГК-30Б, ИГК-Ф-4, ИУ-Ф-10.
- 2.Начертить технологическую схему ИГК-30Б, ИГК-Ф-4, ИУ-Ф-10.
- 3.Кратко описать устройство и процесс работы измельчителей.
- 4.Записать технологические регулировки.
- 5.Начертить схему действия сил при двухопорном резании.
- 6.Записать выражение критического усилия резания, удельного давления, удельной работы резания.
- 7.Описать условия защемления материала, контактного напряжения резания, результаты исследования занести в таблицу 1 и 2.
- 8.Привести анализ результатов исследований.

### **2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Транспортёр
2. Линейка
3. Установка ИГК-30Б
4. Экспериментальная установка модернизированного прибора ЛСХИ

### **2.6.4 Описание (ход) работы:**

Изучение процесса резания является одним из основных вопросов теории сельскохозяйственных машин вообще и машин для приготовления кормов в частности.

Теорию резания применительно к сельскохозяйственным машинам, разработал В.П. Горячкин – в 5 томе его полного собрания трудов опубликованы статьи «Теория соломорезки и силосорезки» и «Теория \_\_ жатвенных машин».

В общем случае процесс резания может проходить двойным путем, в зависимости от движения ножа:

– при помощи перемещения ножа по направлению разреза нормально к лезвию (рис. 5а). Этот процесс иногда называют «рубкой» или «колкой»: он основан на внедрении клина в толщу материала, начальном уплотнении этого материала щёками клина и последующем его отрывании (откалывании);

– при помощи перемещения ножа по двум взаимно-перпендикулярным направлениям – нормально и параллельно лезвию ножа (рис. 5б). Этот процесс называется резанием со скольжением и в значительной степени определяется углом скольжения  $\tau$ .

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{V_{\tau}}{V_n} - \text{коэффициент скольжения}$$

Резание со скольжением применяют чаще, чем рубку, но это выгодно не для всех материалов: если предел прочности сдвига  $\sigma_{сдв}$  меньше, чем предел прочности сжатия  $\sigma_{сж}$ , то материал выгоднее резать со скольжением (с точки зрения затрат энергии), если  $\sigma_{сдв} > \sigma_{сж}$ , то материал выгоднее рубить. Поскольку у корнеклубнеплодов  $\sigma_{сдв} > \sigma_{сж}$ , в корнерезках применяют рубку.

Преимущества резания со скольжением перед рубкой – сила нормального давления, необходимая для начала резания, меньше, чем при рубке; срез получается более чистым.

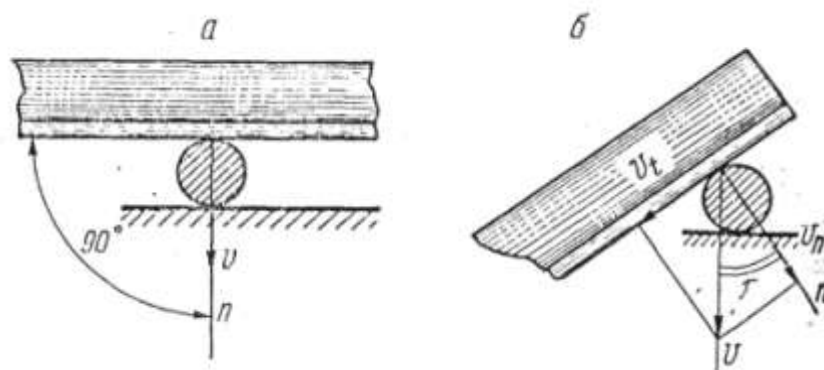


Рисунок 5. Схема движения ножа. а – резание прямым движением (рубка); б – резание скользящим движением.

Большинство режущих аппаратов кормоприготовительных машин работают по принципу ножниц, захватывая материал в раствор между лезвием ножа и рабочей кромкой противорежущей пластины.

## Режущие аппараты кормоприготовительных машин

### 1. Дисковые режущие аппараты

а – дисковый режущий аппарат с радиальным расположением ножа применяется в дисковых корнерезках, осуществляет рубку.

б – дисковые режущие аппараты с эксцентрично расположенным ножом, осуществляют резание со скольжением. Эти аппараты могут иметь разные формы лезвий – прямые, ломаные, криволинейные.

Диск корнерезки может быть расположен вертикально или горизонтально, в нем имеются прорезы для установки ножей. В аппарате с горизонтальным диском защемление материала происходит за счет силы тяжести этого материала (корнеклубнеплодов), и в аппаратах с горизонтальным диском – за счет защемлений материала между диском и корпусом корнерезки.

В отличие от предыдущих, никаких дисков в этих аппаратах нет – дисковыми они названы, потому что ножи аппарата расположены на виртуальном диске, в плоскости которого они вращаются.

## 2. Барабанные режущие аппараты

а – барабанный режущий аппарат с ножом, расположенным по образующей барабана

б – барабанный режущий аппарат с ножом, расположенным под углом  $\tau$  к образующей барабана. Эти аппараты применяют в силосоуборочных комбайнах.

## 3. Центробежные режущие аппараты

Как правило, их применяют для измельчения корнеплодов. Данные об этих аппаратах приведены ниже.

### Формы кривых для лезвия ножа

Форма лезвия ножа оказывает большое влияние на качество и энергетику процесса. Чтобы выявить, какая форма является наилучшей, В.П. Горячкин проанализировал следующие возможные кривые для лезвия ножа:

Гиперболическая спираль;

Логарифмическая спираль ( $\tau = const$ );

Архимедова спираль;

Эксцентрическая окружность;

Развертка окружности;

Инверсия развертки  $\left( \frac{d\psi}{du} = const \right)$ ;

Прямая;

$\chi = const$ ;

$r \cdot \cos(\tau - \varphi) = const.$

Наиболее подходящей кривой является форма лезвия ножа, ограниченная по эксцентрической окружности.

Рассмотрим, какие факторы влияют на процесс резания со скольжением, и за счет чего можно снизить затраты энергии при работе этого аппарата.

### **Факторы, влияющие на процесс резания со скольжением**

**Защемление материала.** Чтобы резать материал, режущая пара (лезвие ножа и противорежущая пластина) должна его защементировать, иначе материал будет выталкиваться из пары. Наверное, вы сами не раз наблюдали это выталкивание, когда резали ножницами какой-либо большой предмет. Для того чтобы выталкивание материала не происходило, необходимо выполнить **условие зацементирования**  $\alpha \leq \varphi + \varphi_2$ ,

где  $\alpha$  – угол зацементирования,

$\varphi_1$  – угол трения ножа о материал,

$\varphi_2$  – угол трения материала о противорежущую пластину.

Иногда это условие не выполняется, но материал все-таки зацементируется. Это происходит, потому что материал плотно удерживается питающими пальцами, которые противодействуют силе выталкивания материала из раствора «нож-противорежущая пластина». Схема определения угла зацементирования показана на рис. 6.

### **Скольжение ножа по материалу.**

При резании, как и при дроблении, большое значение имеет энергетика процесса. Рассмотрим схему дискового аппарата с криволинейной формой лезвия (рис. 7) и определим момент резания  $M_{рез} = P \cdot r$ .

В этом выражении радиус-вектор  $r$  будет изменяться от минимального до максимального значения, по мере перемещения лезвия ножа по противорежущей пластине. Следовательно, при постоянной величине силы резания  $P$  момент  $M_{рез}$  тоже будет увеличиваться от минимального до максимального значения. В результате имеет место неравномерность нагрузки на вал аппарата, который к тому же затрачивает на процесс наибольшее количество энергии.

Посмотрим, за счет чего можно снизить  $M_{рез}$  (рис. 7).

Для этого проведем перпендикуляр из точки  $O$  к нормали  $O_1K$ , получим треугольник, в котором угол  $AOK$  равен  $\tau$ . Найдем плечи сил  $T$  и  $N$  и определим

$$M_{рез} = N \cdot OA + T \cdot AK$$

Расшифруем величины, входящие в это выражение, и введем некоторые обозначения:

Здесь  $OA = r \cdot \cos \tau$ ,  $AK = r \cdot \sin \tau$ ,  $\frac{T}{N} = \operatorname{tg} \varphi^*$ .

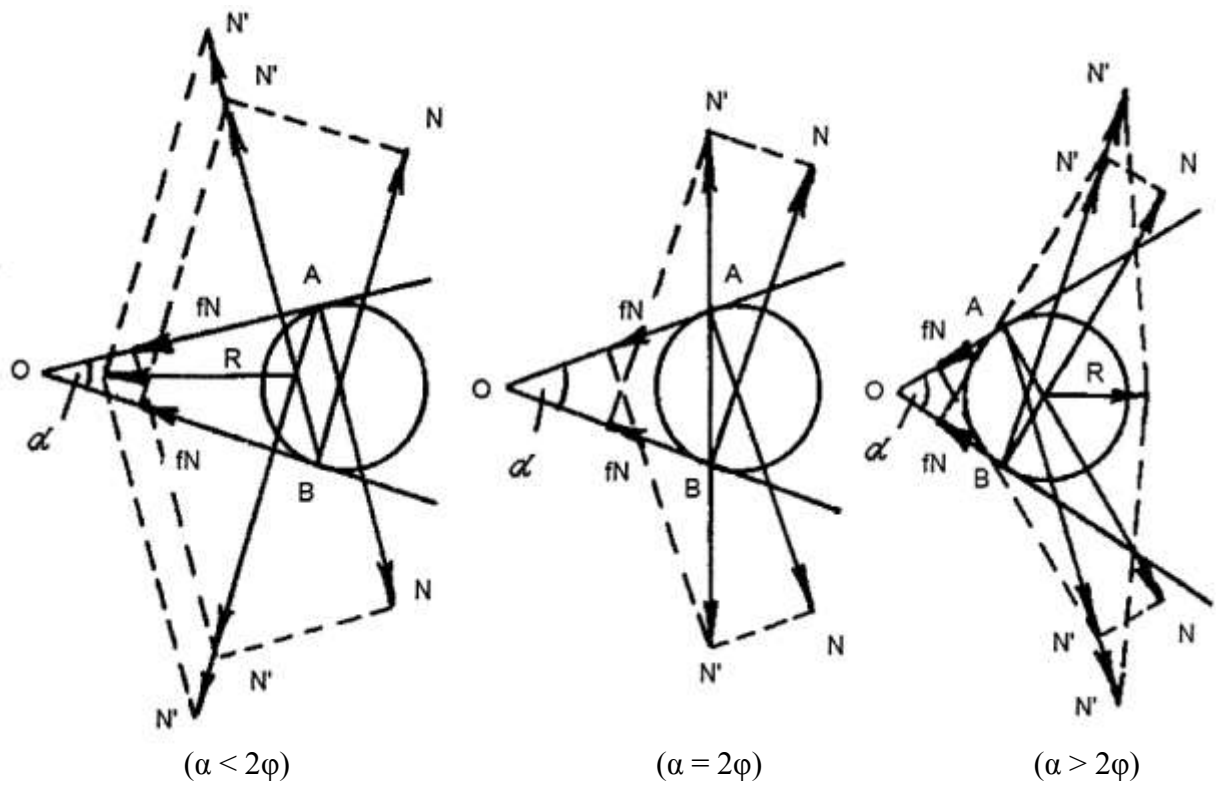


Рисунок 6. Схема определения угла защемления и равнодействующая при резании тела

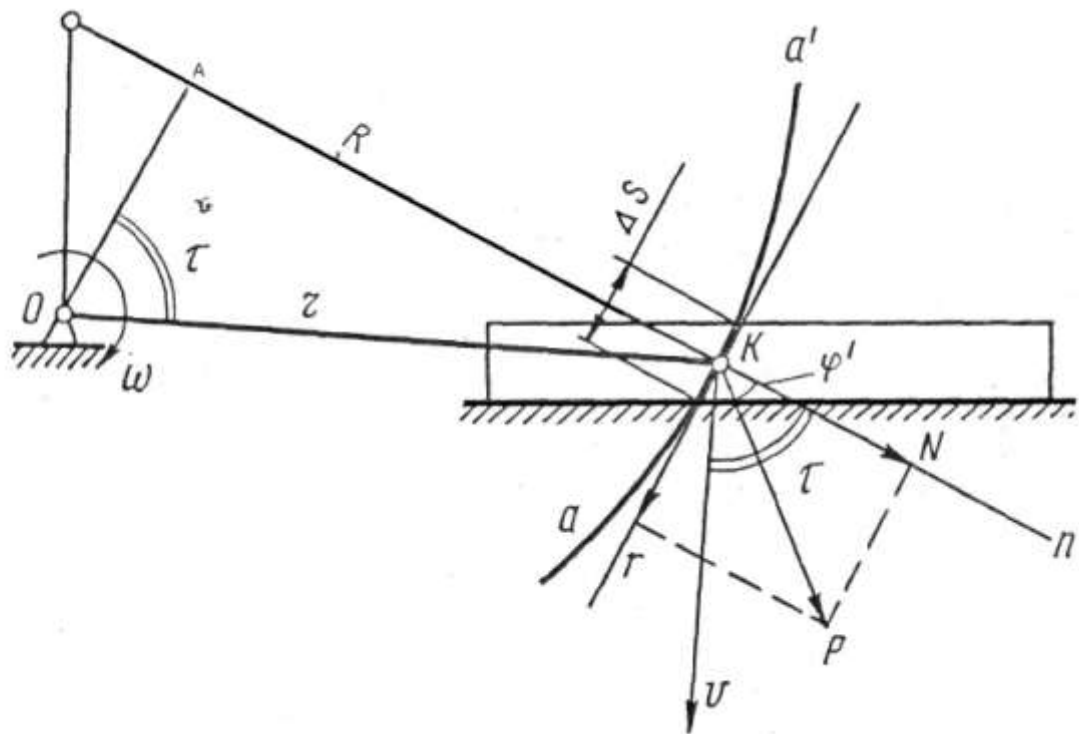


Рисунок 7. Схема работы режущего аппарата дискового типа.



$$N = q \cdot \Delta S, \text{ а } T = q \cdot \Delta S \cdot \operatorname{tg} \varphi'.$$

Подставим эти обозначения в формулу и получим

$$M_{\text{рез}} = \Delta S \cdot q \cdot r \cdot \cos \tau + q \Delta S \operatorname{tg} \varphi' \cdot r \cdot \sin \tau$$

или  $M_{\text{рез}} = r \cdot \Delta S \cdot \cos \tau (q + q \operatorname{tg} \tau \cdot \operatorname{tg} \varphi') - \text{основная формула момента резания по В.П. Горячкину.}$

Анализ показывает, что максимальный  $M_{\text{рез}}$  может быть снижен только в том случае, если с увеличением радиуса-вектора  $r$  все остальные величины будут уменьшаться. В частности, должны уменьшаться  $\cos \tau$  и  $(q + q \operatorname{tg} \tau \cdot \operatorname{tg} \varphi')$  – обобщенная характеристика резания. Какими они должны быть, видно из графика (рис. 8а). При минимальной обобщенной характеристике выбирают оптимальный угол  $\tau$  и диапазон его изменения: для соломы  $\tau = 30 \dots 60^\circ$ , а для силоса –  $\tau = 20 \dots 30^\circ$ .

Влияние **удельного давления ножа** на процесс резания различных материалов ( $q$ ) можно показать на графике (рис. 8б), на котором представлена зависимость  $q = f(\tau)$ , график построен по опытным данным. Анализируя зависимость  $q = f(\tau)$ , следует обратить внимание на то, как  $q$ , которое по сути дела, характеризует свойства материала, влияет на угол  $\tau$ . На графике видно, в каких пределах при минимальном  $q$  нужно выбирать  $\tau$  для резки соломы и силоса и почему резать со скольжением корнеплоды не выгодно – их нужно рубить.

Среди остальных факторов, влияющих на процесс резания, следует отметить **остроту заточки лезвия ножа, состояние и свойства материала, регулировки режущей пары** и др.

На основании анализа факторов, разработаны следующие **требования** к режущим аппаратам, осуществляющим резание со скольжением.

3. Условие защемления должно быть выполнено по всей длине противорежущей пластины.
4. Угол скольжения  $\tau$  должен находиться в оптимальных пределах и возрастать с увеличением радиуса – вектора  $r$ .

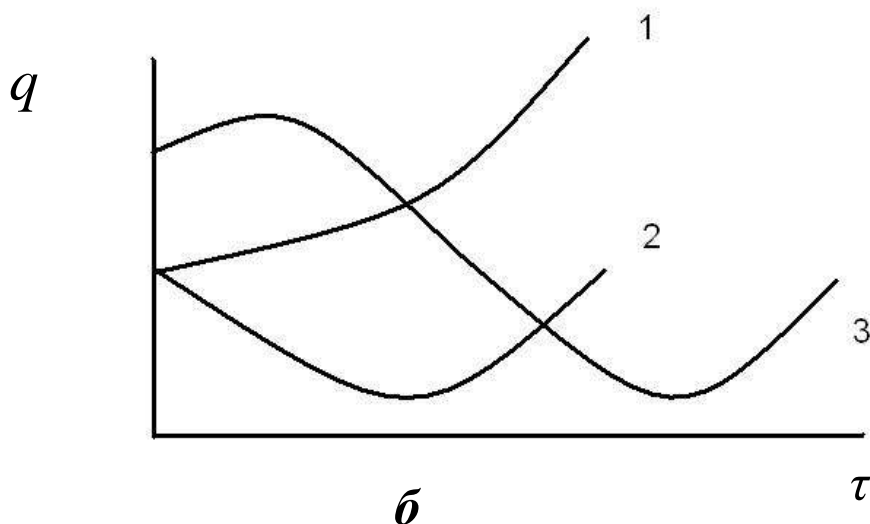
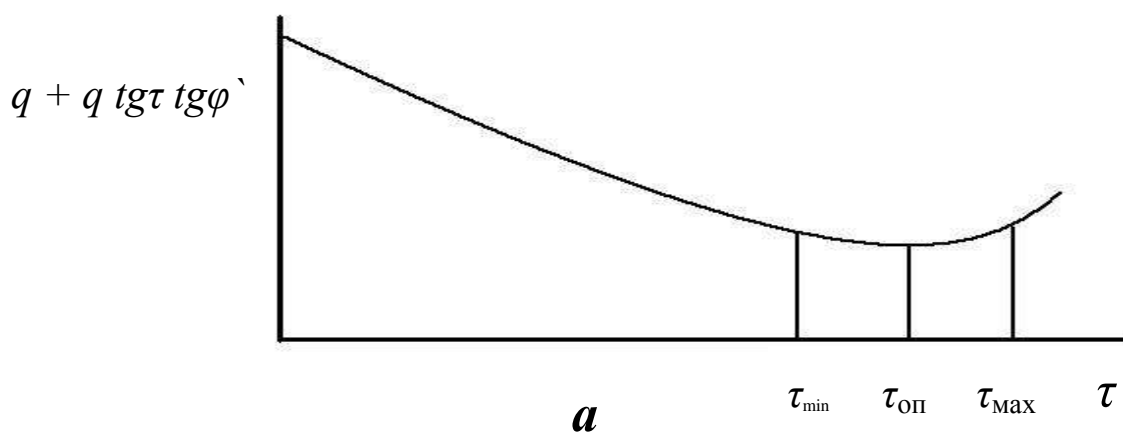


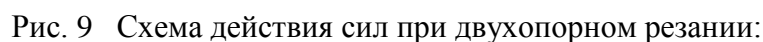
Рисунок 8. а – диапазон изменений угла  $\tau$  в зависимости от обобщенной характеристики резания, б – зависимость угла  $\tau$  от удельного давления ножа на разные материалы:

- 1 – корнеклубнеплоды,
- 2 – силосозелень,
- 3 – солома.

5. С увеличением радиуса вектора длина загруженной части лезвия ножа  $\Delta S$  по возможности не должна увеличиваться.

На процесс резания лезвием влияет целый ряд технологических, кинематических и конструктивных показателей. Рассмотрим процесс двухпорного резания стебельных кормов на многоножевом дисковом измельчителе, работающем по принципу аппарата вторичного резания универсального измельчителя кормов «Волгарь-5».

Схема действия сил (рис. 9) позволяет наиболее полно судить о взаимодействии ступенчатой режущей кромки ножа с материалом при двухпорном резании.



$P_{рез}$  – суммарная составляющая,  $P_{кр}$  – затрачиваемая непосредственно на резание материала обеими режущими кромками,  $P_{рез}=P_{рез1} + P_{рез2}$ , Н;  $P_{сж}$  – усилие сжатия материала, Н;  $h_{сж}$  – величина предварительного сжатия слоя материала, м;  $h$  – толщина слоя перерезаемого материала, м;  $\beta$  – углы заточки лезвий, град. (принято  $\beta = 30^0$ ,  $\beta_1 = 85^0$ )

Анализ схемы двухопорного резания лезвием даёт возможность записать выражения:

1. Критического условия резания  $P_{кр}$ , при котором заканчивается процесс сжатия материала лезвием и начинается непосредственно процесс резания

где  $T$  – сила трения лезвия о материал, Н;

$P_{перед}$  – суммарная составляющая  $P_{кр}$ , включающая затраты усилия и сжатия материала лезвием, на трение материала о кромки, на обжатие лезвия перерезаемым материалом, Н.

$\square$  и  $\square_1$  – острота (толщина) лезвий, м;

$\sigma_{paz}$  – разрушающее (контактное) напряжение под кромками лезвий, Па;

$\xi$  - коэффициент, учитывающий снижение  $\square$  раз за счёт наличия второй режущей кромки;

$E$  – модуль упругости перерезаемого материала, Па;

$k_1, k_2$  – коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров и физико-механических свойств материала;

$f$  – коэффициент трения материала о грани.

2. Удельного давления  $q$  – нормальной составляющей  $N$ , усилия резания  $P_{рез}$ , достаточной для перерезания материала  $\varphi$ , достаточной к единице длины нагруженного участка лезвия  $\Delta S$ , м.

$$q = \frac{N}{\Delta S} = \frac{P_{\partial \partial \zeta} \sin \varphi}{\Delta S},$$

где  $\varphi$  – угол наклона ножа, град.

$$\Delta S = \frac{a}{\sin \varphi},$$

где  $a$  – толщина перерезаемого слоя, 35 см;

$\varphi$  – угол защемления, град.,  $\varphi = 30-51^\circ$

3. Удельной работы резания  $A_{уд}$ , затрачиваемой на перерезание единицы площади поперечного слоя стеблей:

$$A_{уд} = q + f^1 \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $q + f^1 \operatorname{tg} \varphi$  – характеристика ножа;

$f$  – коэффициент скользящего резания;

$A_{уд} = (3 \dots 7) \cdot 10^3$  Дж/см<sup>2</sup> (сено, солома);

$A_{уд} = (3 \dots 5) \cdot 10^3$  Дж/см<sup>2</sup> (трава)

4. Усилия защемления материала:

$$\delta \leq 2\varphi_{\min},$$

где  $\varphi_{\min}$  – минимальный угол трения лезвия по материалу (для режущих аппаратов: дисковых  $\varphi_{\min} = 40-50^\circ$ ; барабанных  $\varphi_{\min} = 24-30^\circ$ ).

5. Режущего (контактного) напряжения резания  $\sigma_{раз}$  – усилие, необходимого для внедрения лезвия в материал, отнесенного к единице площади режущей кромки лезвия:

$$\sigma_{\partial \partial \zeta} = \frac{P_{\partial \partial \zeta}}{\delta \Delta S}$$

где  $P_{раз}$  – составляет 60-70% от критического (общего) условия резания  $P_{кр}$ ;

$\delta$  – острота (толщина) лезвия;

$\Delta S$  – рабочая длина (нагруженный участок) лезвия, м.

### Методика проведения исследований на приборе резания

1. Познакомиться с устройством модернизированного прибора ЛСХИ для определения сопротивления резания стебельных кормов (рис. 10).

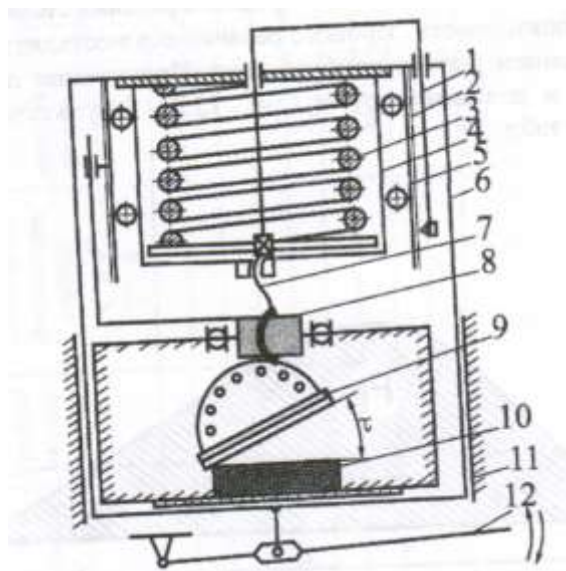


Рис. 10 Схема модернизированного прибора

1-самописец, 2-диаграммная бумага, 3-пружина, 4-внутренний барабан, 5-наружный барабан, 6-подвижная рамка, 7-винт, 8-гайка. 9-нож, 10-лоток с пучком стеблей, 11-рама, 12-рычаг

2. Проверить техническое состояние прибора. Установить под заданным углом сменный нож, противорежущие пластины и диаграммную бумагу. Проверить работу записывающего устройства.

Для исследования отбирают 200-300 стеблей злаков, люцерновой соломы или 4-6 кукурузы.

Стебли закладывают в лоток прибора, обрезают части, выступающие вперёд на расстояние, равное длине резки (0,015 м) и нажав на рычаг прибора, уплотняют стебли в лотке. Площадь поперечного сечения  $F$  стеблей в лотке измеряют в момент начала уплотнения их ножом (для стеблей кукурузы измеряют диаметр и площадь поперечного сечения каждого стебля в отдельности и вычисляют общую стеблей площадь поперечного сечения стеблей). Данные заносят в табл. 1.

3. Провести экспериментальные исследования. Перед началом опыта на диаграммах наносят нулевую линию. Устанавливая ножи с углом заточки  $\beta = 20, 35$  и  $60^\circ$  под углом  $\alpha = 0,30$  и  $60^\circ$ , проводят исследование процесса резания в трёхкратной повторности. Процесс резания осуществляется резким перемещением рычага прибора вниз. Полученные диаграммы снимают и планируют (рис. 11). Результаты замеров заносят в табл. 2.

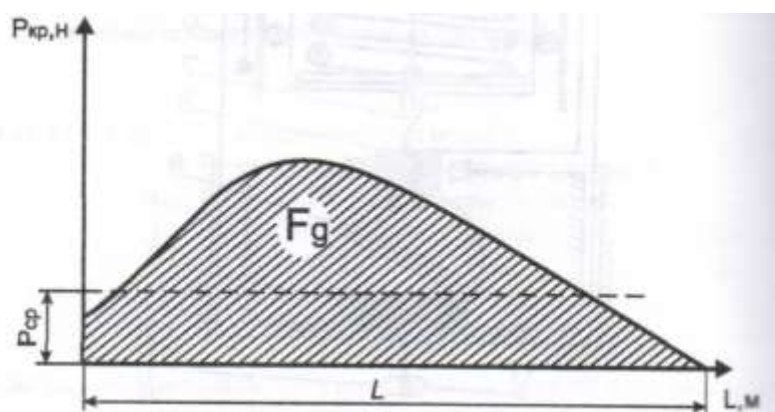


Рис. 11 Диаграмма резания слоя (пучка) стеблей

Таблица 1 Характеристика перерезаемого материала и ножей

№ опы та	Влажно сть W, %	Средн ий диаме тр стебля d <sub>ср</sub> , м	Площадь поперечн ого сечения слоя стеблей $F = \sum_{i=1}^n \frac{\pi d_i^2}{4}$ , м <sup>2</sup>	Угол накло на ножа □, град.	Длина нагруженн ого участка лезвия ножа ΔS, м	Площад ь диаграм мы резания слоя стеблей F <sub>d</sub> , м <sup>2</sup>	Рабочая диаграм мы резания l <sub>d</sub> , м	Средняя высота диаграм мы резания $h = \frac{F_d}{l}$ , м
1-3				0				
4-6				10				
7-9								
10- 12				15				
13- 15				20				
16- 18								
19- 21				30				
22- 24								
25- 26								

**Таблица 2 Энергетические характеристики процесса резания стебельных кормов на приборе резания (ЛСХИ)**

№ опы та	Критиче ское усилие резания $P_{\text{ед}} = h\mu_p$ ,  Н	$P_{\text{ед.н}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$ ,  Н/м	Сред нее усил ие резан ия $P_{\text{раз}} = 0,65$ , $P_{\text{кр}}$ , $H$	Нормаль ная составля ющая усилия резания $N = P_{\text{дв}} \cdot \eta_o$ , Н	Удель ное давление на режущую кромку $q$ , Н/м	$q_{\text{сд}} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}$ ,  Н/м	Контактно е напряжени е в зоне взаимодей ствия с материало м $\sigma_{\text{раз}}$ , Па	$\sigma_{\text{дв}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n}$ ,  Па
1-3								
4-6								
7-9								
10-12								
13-15								
16-18								
19-21								
22-24								
25-26								

**Определение основных показателей процесса резания и анализ результатов исследований**

Провести расчёты всех показателей процесса резания по формулам в последовательности, указанной в табл. 1 и 2. масштаб усилия –  $\mu = 28 \times 10^3$  Н/м.

Вычислите значение всех показателей для трёх групп поверхностей (например, 4-6, 13-15, 22-24).

Полученные данные проанализировать и построить зависимости  $P_{кр}=f(\beta)$  и  $q = \varphi(\beta)$ , определить наиболее благоприятные условия резания.

### **Контрольные вопросы**

1. В чём заключается особенность процесса измельчения грубых кормов штифтовыми рабочими органами?
2. Перечислите основные узлы измельчителя ИГК-30Б (ИГК-Ф-4, ИУ-Ф-10).
3. Как влияет влажность корма на процесс измельчения?
4. Чем отличается исполнение ИГК-Ф-4 от ИГК-Ф-4-1?
5. Как настроить измельчители ИГК-30Б и ИГК-Ф-4 на работу с кормами повышенной влажности (20-30%)?
6. Чем регулируется степень измельчения зерна и грубых кормов в муку у измельчителя ИУ-Ф-10?
7. Дайте определение процесса резания?
8. На схеме двухопорного резания покажите составляющие усилия, необходимые для внедрения ножа со ступенчатой режущей кромкой в материал?
9. Объясните выражение для определения критического усилия  $P_{кр}$ .
10. Объясните понятие «удельное давление», «удельная работа резания».
11. Объясните выражение для определения контактного напряжения резания.
12. Каково назначение и принцип работы модернизированного прибора резания ЛСХИ?
13. По диаграмме резания дайте характеристику измеряемых параметров.
14. Каково влияние угла заточки лезвия на величину критического усилия резания  $P_{кр}$ ?
15. Каково условие защемления материала при резании?



## **2.3 Лабораторная работа 3 (ЛР-3). (2 часа).**

**Тема:** Экспериментальное определение углов откоса, обрушения и коэффициентов трения кормовых материалов

**2.3.1 Цель работы:** Экспериментальным путем выявить углы откоса, коэффициенты трения кормовых материалов.

**2.3.2 Задачи работы:**

1. Определение относительной влажности материала с помощью сушильного шкафа.
2. Определение углов откоса и обрушения зерна и дерти различной относительной влажности и гранулометрического состава.
3. Определение коэффициентов внутреннего трения и трения по стали и другими материалам зерна и дерти различной относительной влажности и гранулометрического состава.
4. Определение крошимости гранул.
5. Определение плотности гранул.
6. Составление отчета.

**2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Прибор ИЛ-ЭМА или сушильный шкаф, набор бюкс, эксикатор, прибор для определения углов откоса и обрушения, транспортер, прибор для определения коэффициентов трения с набором пластин из стали, дерева, фанеры и т. д., набор весов и разновесов, зерно, дерть, гранулированная и рассыпная мука.

**2.3.4 Описание (ход) работы:**

### **1. Определение относительной влажности**

Для определения относительной влажности дерти или комбикормов используется прибор ИЛ-ЭМА (можно использовать сушильный шкаф).

При пользовании прибором ИЛ-ЭМА для ускоренного определения влажности сыпучих материалов высушивание навески исследуемого материала производится с помощью лампы мощностью 500 Вт и напряжением 30 В. Бюксы с навесками материала устанавливаются на подставку, приводимую во вращение от конденсаторного электродвигателя.

Для подготовки прибора к работе следует:

1. Установить прибор горизонтально на лабораторном столе.
2. Поднять выдвижную дверцу.
3. С помощью маховика поднять лампу и установить ее на расстоянии 50- 80 мм от подставки.

4.Подключить прибор к сети.

5.Установить на подставку три открытые бюксы.

6.Включить лампу и мотор и просушить бюксы в течение 8-10 мин. После этого выключить лампу и остановить мотор.

Для проведения испытания следует:

1. В каждую из высушенных бюкс отвесить 5 г исследуемого материала с точностью до 0,01 г.

2. Установить бюксы на подставке, включить лампу и мотор, опустить дверцу.

3. Высушивание навески производить в течение 10 мин.

4. Отключить лампу и остановить мотор.

5. Вынуть бюксы с высушенным материалом, поместить их в эксикатор и накрыть стеклом

6. Взвесить бюксы с материалом.

7. Используя результаты эксперимента, следует подсчитать относительную влажность W в процентах по формуле

$$W = \frac{G_2 - G_1}{G_1 - G} 100 \quad (1)$$

где G — масса пустой бюксы, г; G<sub>j</sub> - масса бюксы с навеской после высушивания, г; G<sub>2</sub> — масса бюксы с навеской до высушивания, г.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое двух определений. Допускаемые расхождения при параллельных определениях не должны превышать ±0.2 %. Результаты заносят в табл. 7.1.

**Таблица 1 Определение влажности, углов откоса и обрушения кормовых материалов**

Корм	Влажность, %	Угол,град	
		откоса	обрушения
Зерно			
Дерть			
Травяная мука			

Угол обрушения характеризует взаимное сцепление частиц материала друг с другом, а угол естественного откоса — их взаимную подвижность. Для идеальных материалов, состоящих из абсолютно одинаковых шарообразных частиц, эти углы равны. Схема прибора для определения углов откоса и обрушения сыпучих материалов представлена на рис. 7.1.

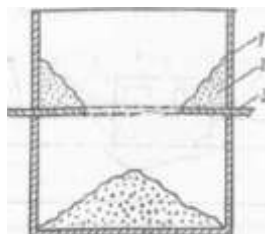


Рис. 1. Схема прибора для определения углов откоса и обрушения сыпучих материалов: 1-ящик; 2-исследуемый материал; 3-заслонка

Перед испытанием заслонки плотно сдвигают. В верхнюю камеру прибора засыпают навеску исследуемого материала массой 4 - 5 кг. После этого медленно раздвигают заслонки в стороны до тех пор, пока через щель не будет устойчивого истечения материала. После окончания ссыпания материала с помощью транспорта определяют углы обрушения и откоса. Затем заслонки выдвигают полностью и пересыпают материал из нижней камеры прибора в ящик. Испытания проводят с трехкратной повторностью для каждого исследуемого материала. Среднее значение определяемой характеристики заносят в табл. 7.1.

### **3. Определение коэффициентов внутреннего трения и трения по стали и другим материалам**

Схема прибора для определения коэффициентов трения показана на рис. 2

Для определения коэффициентов трения отвешивают 4 порции исследуемого материала массой по 1 кг и засыпают в специальные банки. В первой банке относительную влажность материала не изменяют. Во вторую, третью и четвертую банки наливают соответственно 30, 60 и 100 г воды и перемешивают с материалом. Таким образом, во второй банке относительная влажность материала увеличивается на 3 %, в третьей — на 6 % и четвертой - на 10 %.

Для определения коэффициентов внешнего трения на направляющие прибора укладывают полосу материала (металл, дерево, пластмасса и т. д.). На полосу ставят

коробку без дна и с помощью динамометра определяют усилие, необходимое для передвижения пустой коробки.

После этого в коробку насыпают 0,4 - 0,5 кг исследуемого материала. На материал устанавливают пластину, а на нее - груз. С помощью динамометра определяют усилие, необходимое для передвижения коробки с материалом и грузом. При одной и той же массе груза и исследуемого материала опыт проводят с трехкратной повторностью.

После этого исследуемый материал из коробки высыпают в соответствующую банку. В коробку засыпают материал с другой относительной влажностью и испытания повторяют

Для определения коэффициентов внутреннего трения с направляющих снимают полосу и в ящик добавляют исследуемый материал.

Испытания проводят в таком же порядке, как и при определении коэффициентов внешнего трения.

Численные значения коэффициентов трения определяют по формуле:

$$f = \frac{\tau}{\sigma} \quad (2)$$

де  $\tau$  - касательное напряжение, действующее в плоскости сдвига, Па;  $\sigma$  — нормальное напряжение в плоскости сдвига, Па.

Здесь касательное  $\tau$  и нормальное  $\sigma$  напряжения рассчитывают по формулам

$$\tau = (P_1 - P_2)/S \quad (3)$$

$$\sigma = 9,81(Q + Q_2 + Q_3)/S,$$

За окончательный результат принимают среднее арифметическое из 3-х опытов и результаты заносят в табл. 2.

Корм	f <sub>внешн</sub> при влажности				f <sub>внутр</sub> при влажности			
	W, %	W <sub>2</sub> =	W <sub>3</sub> =	Конт- роль	W, %	W <sub>2</sub> =	W <sub>3</sub> =	Конт- роль
Дробленое зерно								
Травяная мука								

По результатам опытов следует построить графические зависимости  $f_{\text{вн.}}(W)$  и  $f(W)$

### **Вопросы для контроля**

1. Что такое коэффициент внешнего трения?
2. Что такое коэффициент внутреннего трения?
3. Что такое угол откоса?
4. Что такое угол обрушения?
5. Как влияет относительная влажность материала на величину коэффициента трения?
6. Какие существуют способы определения относительной влажности кормов?
7. Как зависит численное значение угла откоса от относительной влажности материала?
8. Какое влияние на конструкцию бункеров оказывают углы откоса и обрушения?
9. Какое влияние на конструкцию транспортеров и их производительность оказывает численное значение коэффициента трения?

## **2.4 Лабораторная работа 4 (ЛР-4). (2 часа).**

**Тема:** Экспериментально-теоретическое исследование рабочего процесса ленточного кормораздатчика

**2.4.1 Цель работы:** Теоретическое и экспериментальное изучение основных принципов технологического расчета, параметров стационарных ленточных кормораздатчиков верхнего расположения типа РК-50, ТРЛ-100 и др.

### **2.4.2 Задачи работы:**

1. Изучение технологической схемы ленточного кормораздатчика.
2. Изучение методики технологического расчета и определение основных параметров ленточного кормораздатчика.
3. Проведение лабораторных исследований и анализ расчетных и опытных данных.
4. Составление отчетов

### **2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Действующая модель кормораздатчика-дозатора, секундомер, мерные емкости, настольные весы до 5 кг, измерительный комплект К-51, измельченный корм 5-6 кг.

### **2.4.4 Описание (ход) работы:**

#### **1. Изучение технологической схемы ленточного кормораздатчика.**

Раздатчик кормов стационарный, ленточный, верхнего расположения, типа РК-50 (рис. 1) предназначен для транспортировки в помещения и раздачи в кормушки кормосмесей на основе измельченных стебельчатых кормов на молочных и откормочных комплексах и фермах крупного рогатого скота.

Массовый расход кормораздатчика колеблется от 1,11 (сено), 4,5 (сенаж), 6,95 (силос) до 8,34 (зеленная масса) кг/с в зависимости от вида корма.

Для фронта кормления 240 М, установленная мощность всех электродвигателей 8 кВт. Время раздачи корма в помещении на 200 голов составляет 18 мин. Обслуживает раздатчик один оператор. Масса кормораздатчика 7100 кг.

Раздатчик кормов (рис. 1) состоит из наклонного ленточного транспортера, поперечного транспортера-загрузчика, транспортера-раздатчика кормов, шкафа электрооборудования.

Транспортер-раздатчик является основным рабочим органом раздатчика кормов и состоит из секций, транспортной ленты, опорных и поддерживающих роликов, натяжителя, ходовых катков и сбрасывателей. Привод раздатчика реверсивный и служит для вращения ведущего барабана и цепочного колеса.

Раздатчик кормов рассчитан на установку в помещении размером 21\*72 м на 200 голов крупного рогатого скота, имеющем два кормовых проходов 9,7 м. Высота животноводческого помещения должна быть не ниже 3,54 м.

Подача корма на раздатчик осуществляется (рис. 1) либо мобильным кормораздатчиком типа КТУ-10, либо стационарными бункерами-дозаторами.

При загрузке раздатчика кормов мобильным кормораздатчиком типа КТУ-10 агрегат, доставляющий корм, заезжает в кормозагрузочное помещение.

Мобильный кормораздатчик останавливают так, чтобы поперечный выгрузной транспортер его был над загрузочной воронкой наклонного транспортера.

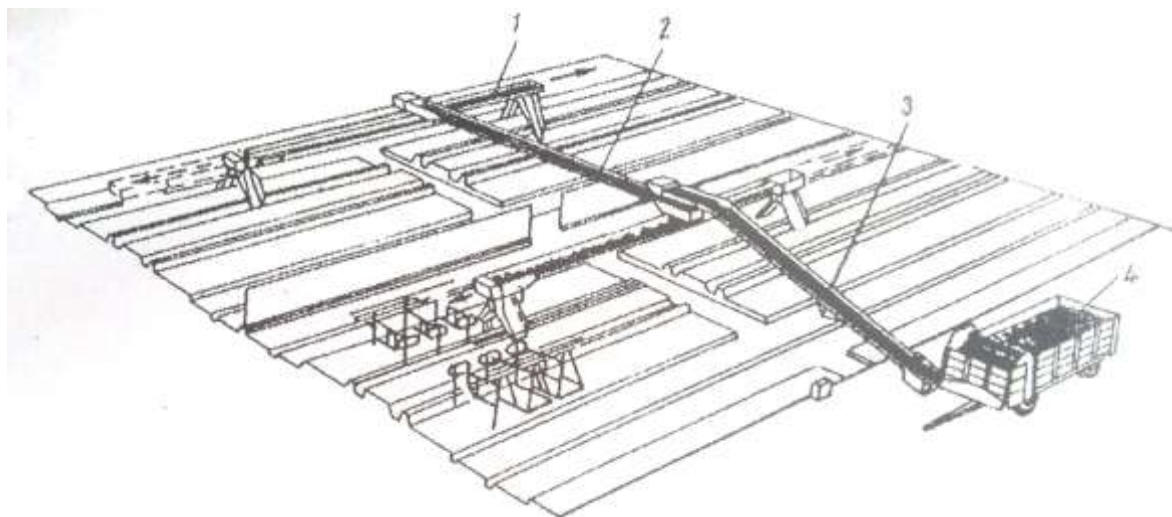


Рисунок 1. Технологическая схема ленточного кормораздатчика верхнего расположения

1 – транспортер раздатчик; 2 – поперечный транспортер загрузчик; 3- наклонный ленточный транспортер; 4 – мобильный кормораздатчик

После этого включают в работу наклонный и поперечный транспортеры раздатчика РК-50. Только после этого тракторист начинает подавать корм из мобильного кормораздатчика КТУ-10.

При поступлении корма с поперечного транспортера-загрузчика на транспортер-раздатчик, включают его привод и начинают раздачу корма непосредственно в кормушки. По окончании раздачи корма транспортер-раздатчик автоматически останавливается. После этого оператор включает кнопку «назад», и раздатчик раздает корм в соседний ряд кормушек.

## 2. Изучение методики технологического расчета и определения основных параметров ленточного кормораздатчика.

Расчет производят только для транспортера-раздатчика, раздающего корм в кормушки за один проход (рис. 2).

Исходные данные для расчетов принимают согласно варианту из табл. 1.

1. *Определить технологические параметры ленточного кормораздатчика:*

1. Масса корма, кг/м, раздаваемого на 1 длины кормушки

$$q_M = \frac{q \cdot m_0}{f_K}, \quad (1)$$

где  $m_0$  – количество голов на одно кормоместо,  $m_0=1$ ;

$f_K$  – фронт кормления, м (для дойных коров  $f_K=0,4$  м; для нетелей  $f_K=0,38$  м;

для

молодняка при боксовом содержании  $f_K=0,35$  м);

$q$  – разовая выдача корма на 1 голову, кг/гол.

$$q = \frac{(q_1 + q_2)}{k_p}, \quad (2)$$

где  $(q_1 + q_2)$  – норма выдачи на 1 голову в сутки, кг/гол.:  $q_1$  – для сена,  $q_2$  – силоса (сенажа), (табл. 1);

$k_p$  – кратность раздачи кормов,  $k_p=2...3$ .

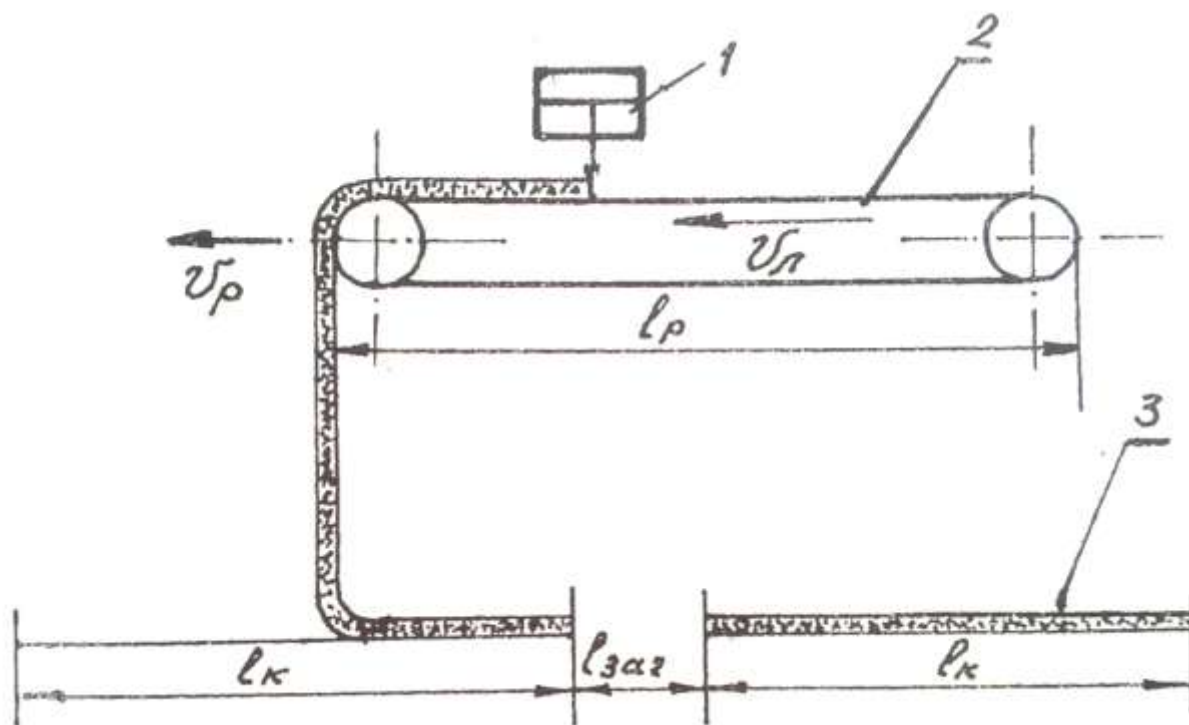


Рисунок 2 Расчетная схема ленточного кормораздатчика верхнего расположения

1 – загрузчик; 2 – ленточный кормораздатчик-дозатор; 3 - кормушка

2. Площадь поперечного сечения,  $m^2$ , слоя продукта на транспортной ленте  
 $F=c(0.9B-0.05)^2$ , (3)

где  $c$  – коэффициент, учитывающий форму сечения продукта (корма) на транспортной ленте,  $c=0,45$ ;

$B$  – ширина ленты, м,  $B=0,5$  м.

Таблица 1

Исходные данные для расчетов процесса раздачи кормов

Ленточным транспортером-кормораздатчиком

№	Животные	Корма	Объемная масса $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Норма выдачи кг/гол. $q_{1,2}$	Фронт кормления $F_k$ м	Характеристика помещений животноводч.		
						общая вместимость, гол.	кол. рядов кормушек	Длина 1 ряда кормушек $(2l_k+l_{заг})$ м
1	Дойные коровы	Сено Силос	60-70 200-400	$q_1=5$ $q_2=30$	0,4	200	4	62
2	То же	Сено Сенаж	60-70 200-300	$q_1=4$ $q_2=22$	0,4	400	8	84
3	Нетели	Сено	60-70	$q_1=4$	0,38	200	4	62



		Силос	200-400	$q_2=26$				
4	То же	Сено Сенаж	60-70 200-300	$q_1=4$ $q_2=20$	0,38	400	8	84
5	Молодняк на откорме	Сено Силос	60-70 300-400	$q_1=2$ $q_2=24$	0,35	400	8	62
6	То же	Сено Сенаж	60-70 200-300	$q_1=2$ $q_2=18$	0,35	600	12	74

3. Массовый расход , кг/с ленточного кормораздатчика при загрузке и транспортировании корма

$$Q = F \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot v_{\text{л}}, \quad (4)$$

где  $\rho_{\text{ср}}$  – объемная масса кормосмеси, кг/м<sup>3</sup> ;

$v_{\text{л}}$  – скорость перемещения ленты,  $v_{\text{л}}=0,8-1,4$  м/с (нижний предел принимается для молодняка; верхний для взрослого скота).

4. Скорость м/с передвижения транспортера-раздатчика

$$v_{\text{р}} = \frac{Q}{q_{\text{м}}}. \quad (5)$$

5. Продолжительность работы кормораздатчика  $c$ , при раздаче корма в кормушки

$$T = \frac{2 \cdot (2 \cdot l_{\text{к}} + l_{\text{заг}} - l_{\text{р}})}{v_{\text{р}}}, \quad (6)$$

где  $l_{\text{к}}$  – длина кормушки, м;

$l_{\text{заг}}$  – длина места загрузки кормов, м;

$l_{\text{р}}$  – длина транспортера-раздатчика, м.

$$l_{\text{р}} = l_{\text{к}} + 0,5 l_{\text{заг}}, \quad (7)$$

если  $l_{\text{к}} = 62/2 = 31$  м,  $l_{\text{заг}} = 9,7$  м

когда  $l_{\text{р}} = 31 + 0,5 \cdot 9,7 \approx 36$  м

2. Определить мощность привода кормораздатчика  $N$

1) потребная мощность двигателя на привод ленточного транспортера-раздатчика, кВт:

$$N = \frac{W_0 \cdot l}{(102 \cdot \eta)}, \quad (8)$$

где  $v_{\text{л}}$  – скорость движения ленты, м/с,  $v_{\text{л}} = 0,8-1,4$ ;

$\eta_{\text{м}}$  – КПД передаточного механизма приводного вала транспортера-раздатчика к валу двигателя,

$\eta_{\text{м}} = 0,97$ ;

$W_0$  – величина тягового усилия на головном валу, даН.

$$W_0 = k(W_{\text{ГР}} + W_{\text{П}}), \quad (9)$$

где  $W_{\text{ГР}}$  – сопротивление на грузовой ветви, даН, (дека=10 Н);

$W_{\text{П}}$  – сопротивление на нагруженной ветви, даН;

$k$  – коэффициент.

Существует следующая зависимость коэффициента  $k$  от длины ленты транспортера  $L_{\text{м}}$

$L_{\text{м}} \rightarrow$	30-40	50-60	80-90	100	110	125	160	200 м
$k \rightarrow$	2,65	2,2	1,85	1,74	1,64	1,53	1,45	

2) суммарное сопротивление на обеих ветвях, даН

$$W_{\text{ГР}} + W_{\text{П}} = (q_{\text{в}} + 2q_{\text{л}} + q_{\text{р}}^{\text{I}} + q_{\text{р}}^{\text{II}}) L \cdot \omega^{\text{I}}, \quad (10)$$

где  $q_{\text{л}}$  – линейная плотность ленты с учетом объемной массы, даН/м,

$q_{\text{л}} = 1,1 B \cdot \delta$ ,

где  $\delta = (5-15) \cdot 10^{-3}$  (В – толщина ленты);

$\omega^{\text{I}}$  – коэффициент сопротивления движению ленты по опорам (в зависимости от влажности и

наличия пыли в помещении,  $\omega^{\text{I}} = 0,018 - 0,035$ );

$q_{\text{в}}$  – линейная плотность корма на ленте, даН/м, равный:

$$q_B = F \cdot \rho_{CP} \cdot \Psi, \quad (11)$$

где  $\Psi$  – коэффициент наполнения (ориентировочно принимается для кормосмеси  $\Psi=0,87$ )

$q_P^I, q_P^{II}$  – вес 1 м погонной длины вращающихся частей роликов на грузовой и ненагруженной ветвях, даН/м.

$$q_P^I = \frac{G_P^I}{l^I}, \quad (12)$$

$$q_P^{II} = \frac{G_P^{II}}{l^{II}} \quad (13)$$

где  $G_P^I, G_P^{II}$  – вес вращающихся частей роликовых опор обеих ветвей транспортера  $G_P^I = G_P^{II} = 7,5$  даН;

$l^I, l^{II}$  – расстояние между ролико-опорами, м ( $l^I = 0,8 - 1,2$  м и  $l^{II} = 2 - 3$  м).

После подстановки значений формула мощности привода принимает вид

$$N = \frac{\kappa \cdot 2 \cdot l_P \cdot \omega^I}{102 \cdot \eta} \cdot (q_B + 2q_L + q_P^I + q_P^{II}) \cdot l. \quad (14)$$

Полученные данные сводят в таблицу 2.

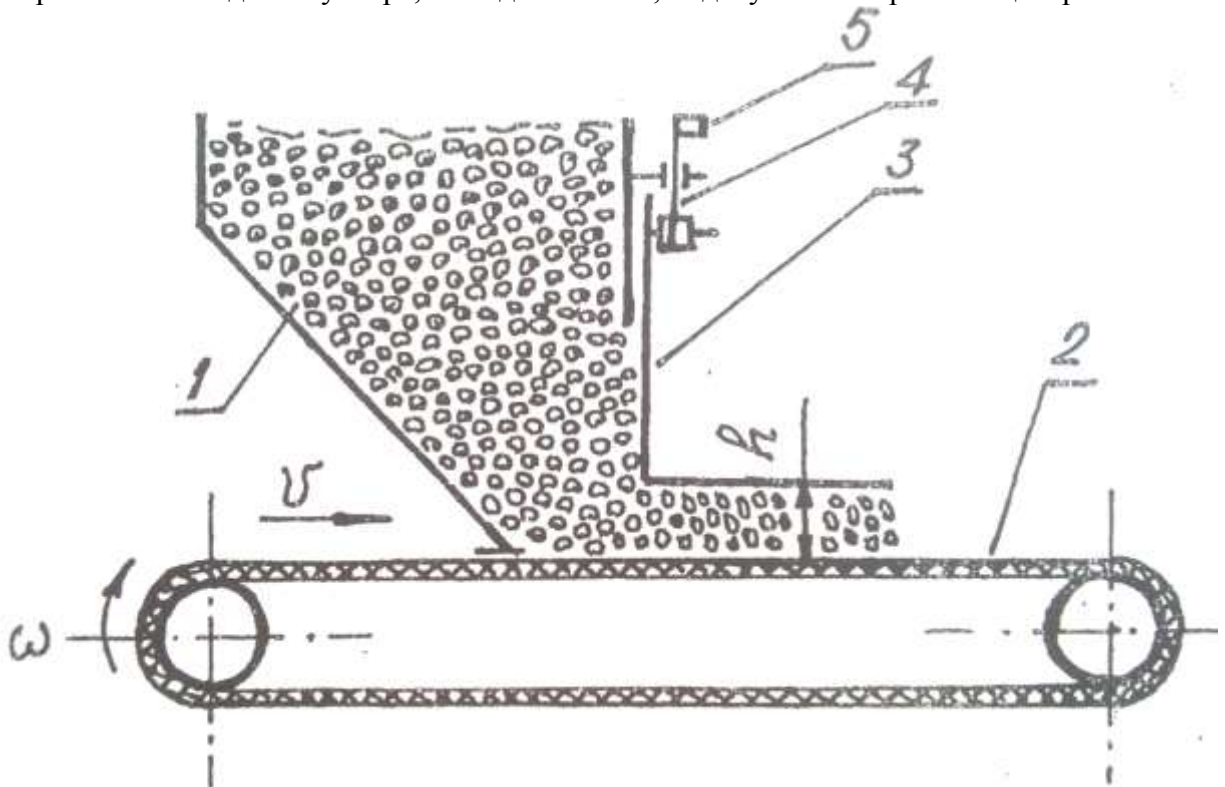
Таблица 2

**Основные расчетные параметры ленточного транспортера-кормораздатчика**

Параметры	Q, кг/с	N, кВт	v, м/с	v, м/с	B, м	δ, м	T, с
Расчетные							

### 3. Проведение лабораторных исследований ленточного транспортера (дозатора) кормов.

Ленточный дозатор (рис.3) состоит из бункера 1, непрерывной ленты 2, регулировочной заслонки 3, соединенный с винтом-рукояткой 4. Привод дозатора осуществляется от электродвигателя через червячный редуктор. Из бункера комбикорм-концентрат выводится наружу, изменяя положение заслонки регулируют размеры отверстия на выходе из бункера, и следовательно, подачу комбикорма-концентрата.



**Рисунок 3. Схема ленточного дозатора кормов**

1 – бункер; 2 – лента; 3 – заслонка; 4 – винт; 5 – рукоятка винта

### Техническая характеристика дозатора:

Частота вращения электродвигателя - 1440 об/мин.  
 Передаточное число редуктора - 40  
 Диаметр ведущего ролика - 0,05 м  
 Ширина отверстия в бункере - 0,06 м  
 Пределы регулировки высоты отверстия в бункере - 0,04...0,06 м

Последовательность выполнения лабораторной работы.

1. Определить плотность концентрата-комбикорма (зерна, смеси и др.) по формуле 24.15

$$\rho = \frac{M-m}{V_n}, \quad (15)$$

где  $\rho$  – плотность концентрата-комбикорма, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho=540...620$  кг/м<sup>3</sup>;

$M$  – масса мерной емкости, заполненной комбикормом-концентратом, кг;

$m$  – масса мерной емкости, кг;

$V_n$  – вместимость мерной емкости, м<sup>3</sup>.

2. Определяем теоретическую подачу  $Q_T$ , кг/ч дозатора для заданных положений регулировочной заслонки 3 ( $h_1=2$  см,  $h_2=1$  см,  $h_3=4$  см,  $h_4=5$  см) по формуле 24.16 и заносим результаты подсчетов в таблицу 24.3.

$$Q=3600 \cdot B \cdot h \cdot v \cdot \rho, \quad (16)$$

где  $B$  – ширина слоя корма на ленте, м;

$h$  – высота слоя корма на ленте (высота установки заслонки 1 относительно ленты), м

3. Определить выдачу комбикорма-концентрата дозатором за промежуток времени (30-60 с) при тех же  $h$ , что в пункте 2. Повторность опытов трехкратная, результаты записать в таблицу 24.3.

4. Определить действительную подачу (массовый расход) дозатора по формуле

$$Q_D = \frac{3600 \cdot G}{t}, \quad (17)$$

где  $Q_D$  – действительный расход дозатора, кг/ч;

$G$  – масса выдаваемого дозатором концентрата-комбикорма, кг;

$t$  – продолжительность опыта, с.

5. По данным таблицы 24.3 и расчетов построить графики зависимости действительной и теоретической подачи дозатора от величины открытия заслонки ( $h$ ).

6. Определить коэффициент использования подачи

$$\varphi = \frac{Q_D}{Q_T}, \quad (18)$$

7. Заполнить таблицу 3

Таблица 3

### Результаты исследований дозатора кормов

№	Высота слоя корма, м	Время опыта, с	Масса концентрата, кг	Действительная производительность, кг/ч	Теоретическая производительность, кг/ч	Коэффициент использования подачи

## **2.5 Лабораторная работа 5 (ЛР-5). (2 часа).**

**Тема:** Экспериментально-теоретическое исследование процесса гранулирования и брикетирования кормов

**2.5.1 Цель работы:** Экспериментально-теоретическое исследование процесса гранулирования и брикетирования кормов

**2.5.2 Задачи работы:**

- 1.Определение крошимости гранул
- 2.Определение плотности гранул
- 3.Составление отчета.

**2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

Прибор для определения крошимости гранул и пикнометр для определения плотности гранул

**2.5.4 Описание (ход) работы:**

**Прессы для гранулирования кормов классифицируют:**

*По принципу прессования* – на прессы с закрытой и открытой камерами, в которых противодавление создается соответственно глухой стенкой и силой трения о боковую стенку камеры.

*По типу рабочих органов*, создающих усилие прессования, на следующие:

*Формирующие прессы*, в которых образование гранул происходит при прохождении продукта между двумя вращающимися навстречу друг другу ячеистыми вальцами. Недостатки этих прессов – низкая производительность и большая энергоемкость, поэтому они нашли лишь ограниченное применение.

*Шестереночные прессы*. Рабочим органом этих прессов является пара шестереночных колес, находящихся в зацеплении и вращающихся навстречу друг другу. У основания зубьев имеются сквозные радиальные отверстия, через которые продавливается прессуемый материал. Выходящие из отверстий гранулы срезаются неподвижными ножами. Диаметр гранул 10...13,5 мм.

*Шнековые грануляторы* могут быть цилиндрическими и коническими, одно- и двухшнековыми, с горизонтальным и вертикальным расположением шнеков. В любом из них сырьё захватывается шнеком, перемешивается, нагнетается к матрице и продавливается через отверстия соответствующего диаметра. Выходящие из матрицы гранулы срезаются вращающимися ножами.

*Прессы с плоской горизонтальной вращающейся матрицей*, через отверстия которой материал продавливается прессующими вальцами и формируется в гранулы.

Вальцы могут быть коническими и цилиндрическими с активным и пассивным приводами.

*Прессы с кольцевой горизонтальной и вертикальной вращающейся матрицей.* Через формирующие отверстия последней, материал продавливается прессующими активными или пассивными вальцами.

Особенностью такого прессы является равенство окружных скоростей по линии контакта матрицы и вальца, поэтому трение между ними отсутствует и вся энергия тратится на прессование.

**Основным показателем, характеризующим процесс гранулирования материалов, является конечная плотность** получаемых гранул. Она зависит от величины прикладываемого к сжимаемому материалу давления. Зависимость между этими величинами позволяет определить усилия, действующие в деталях и механизмах машин, и энергию, потребную для уплотнения.

На рис. 22 показана схема взаимодействия рабочих органов пресс-гранулятора со слоем материала. Валец, перемещаясь по поверхности матрицы, вращается вокруг своей оси, захватывает материал в точке  $A$ , сжимает его и подаёт в каналы прессования на участке  $AC$ .

Рассмотрим взаимодействие вальца с материалом в точке  $A$ . Проведем в точке  $A$  касательную перпендикулярную радиусу вальца  $r$  и в этой же точке проведем касательную к кривой, характеризующей изгиб поверхности материала в момент его захвата вальцом. К последней восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с осью  $y$  в точке  $D$  и с поверхностью в точке  $B$ . Расстояние от точки  $D$  до  $B$  (вектор  $DB$ ) обозначим  $\theta$ . Из треугольника  $OAD$  следует, что угол  $\gamma$  равен

$$\gamma = \alpha - \beta.$$

При отсутствии буксования дуга поворота вальца  $CA$  примерно равна участку матрицы  $CB$ , что позволяет написать равенство:

$$r\alpha = \theta\beta,$$

откуда угол захвата

$$\beta = \frac{\alpha r}{\theta}$$

Подставим в уравнение 1 значение  $\beta$ , получим:

$$\gamma = \alpha(1 - r / \Theta)$$

Это равенство позволяет определить величину угла захвата  $\alpha$

$$\alpha = \gamma(1 - r / \Theta)$$

где  $\gamma$  – угол защемления материала между вальцом и матрицей;

$r$  – радиус вальца, м;

$\theta$  – радиус вектора  $DB$ , м

Из рисунка следует, что высота захвата слоя материала вальцем  $H = \theta - DA$ . Определив из треугольника  $OAD$  величину  $DA$ , получим, что

$$H = \Theta - \sqrt{r + (\Theta - r)^2 + 2r(\Theta - r)\cos \frac{\gamma}{1 - \frac{r}{\Theta}}}$$

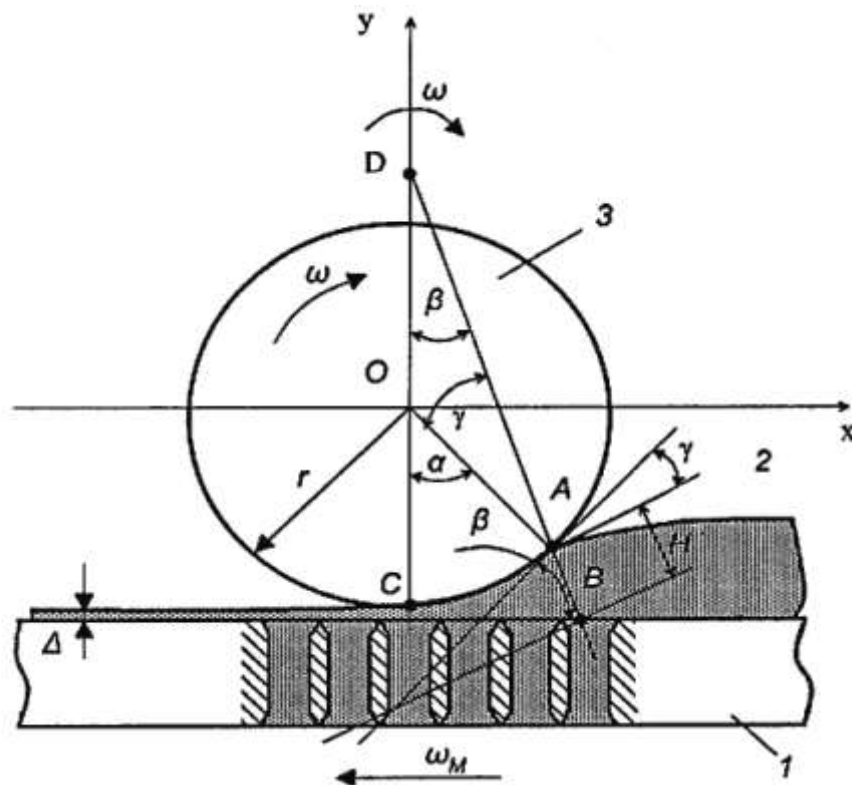


Рисунок 1. Схема к расчету высоты захватываемого слоя в горизонтальной матрице: 1 – матрица; 2 – прессуемый материал; 3 – прессующий валец.

Входящий в уравнение угол защемления  $\gamma$  должен быть не больше угла трения  $\varphi$  корма о поверхность вальца, т.е.  $\gamma \leq \varphi$ .

Производительность горизонтальной матрицы, с учетом высоты захвата слоя  $H$  и конструктивных параметров матрицы составит:

$$Q \approx 2\pi\theta B H \rho_o \omega t \psi, \text{ кг/с}$$

где  $B$  – рабочая ширина матрицы ( $B = D - d_I$ );

$D$  и  $d_l$  – наружный и внутренний диаметры рабочей поверхности матрицы;

$\rho_o$  – плотность корма, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  – число вальцов;

$\psi$  – коэффициент, учитывающий эффективность проталкивания материала через каналы матрицы.

Производительность процесса, рассчитанная по этой формуле не должна превышать производительность

$$Q = \frac{S_o l \rho_z \cdot \beta}{t}, \text{ кг/с}$$

где  $S_o$  – прочность поперечного сечения канала, м<sup>2</sup>;

$l$  – длина канала, м;

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

$z$  – число каналов в матрице;

$\beta$  – коэффициент использования живого сечения матрицы;

$t$  – время прессования, т.е. время пребывания порции материала в канале прессования, с.

Или с учетом времени релаксации напряжения в спрессованном корме

$$Q = \frac{\pi d^2 \rho l z}{4 t_p}, \text{ кг/с}$$

где  $d$  – диаметр каналов прессования, м;

$t_p$  – время релаксации напряжений, с

#### *Определение крошимости гранул*

Совокупной характеристикой прочности гранул является их крошимость. Этот показатель характеризует качество работы пресса- гранулятора и обоснованности выбора всей технологии гранулирования в целом. Для определения крошимости гранул следует использовать специальный прибор, выполненный в виде камеры с размерами 0,3х0,3х0,125 м.

Оценку крошимости производят в реальных условиях производства непосредственно после пресса-гранулятора. Поэтому образец гранул массой 1,5 — 2 кг берут для испытания после охладительной колонки. Перед испытанием гранулы освобождают от случайных мелких частиц и обломков, затем из образца берут навеску гранул массой 0,5 кг и загружают в прибор. Камера с гранулами приводится во вращение с частотой 50 мин<sup>-1</sup>. Продолжительность вращения 10 мин.

Еще лучше пользоваться в качестве критерия не продолжительностью вращения, а суммарным числом оборотов камеры. После 500 оборотов прибор выключают, а навеску высыпают из прибора на сито для отделения крошки.

Для удаления крошки, образовавшейся при вращении камеры, лучше применять не механическое, а ручное просеивание в течение 1 мин на сите с диаметром отверстий, равным 0,8 диаметра гранул. Это позволит избежать дополнительного крошения гранул.

Разность массы гранул до и после обработки в приборе, выраженная в процентах, является мерой механического сопротивления, т. е. крошимостью. Крошимость определяют по формуле:

$$K = (m_h - m_k) \cdot 100 / m_h \quad (1)$$

где  $m_h$  - начальная масса гранул, принимаемая равной 0,5 кг;  $m_k$  - конечная масса гранул после обработки, кг.

Таблица 1 Определение плотности и прочности гранул

Повтор- ность опыта	Характеристика плотности гранул			Характеристика прочности гранул		
	Масса образца, кг	Число делени й прибор а z	Плот ность грану л р, г/см <sup>3</sup>	Масса образца, кг		Кроши мость К, %
				начальн ая т	конечна я Тц	
1						
2						
3						
Среднее						

Результаты опыта заносят в табл. 1.

## 2. Определение плотности гранул

Наиболее распространенным способом определения плотности кормов является пикнометрический. Схема прибора для определения плотности гранул по этому способу представлена на рис. 7.3. Прибор состоит из мерного цилиндра, соединенного резиновой трубкой с мерной стеклянной трубкой. Мерную трубку с делениями устанавливают под углом к мерному цилиндру, что повышает точность отсчета.



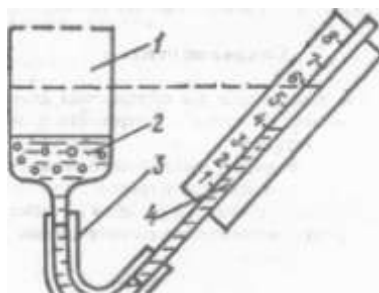


Рис. 1. Схема прибора для определения плотности гранул: 1 - мерный цилиндр; 2 - навеска гранул; 3 - резиновая трубка; 4 - мерная трубка

В мерный цилиндр заливают жидкость (керосин, трансформаторное масло). Испытуемый образец корма (0,3 кг) взвешивают на аналитических весах и погружают в мерный цилиндр. В учебной работе масса навески может быть уменьшена до 0,1 кг.

Перед погружением фиксируют первоначальный уровень жидкости в мерной трубке. После прекращения выделения из сосуда с образцом пузырьков воздуха фиксируют новый уровень жидкости. Плотность корма (гранул), г/см, определяется по формуле:

$$\rho = am/z \quad 2$$

где: m - масса образца, г;

z —число делений мерной трубки, на которое поднимается уровень жидкости при погружении в нее образца корма;

a -постоянная прибора, определяемая при тарировке и выражающая количество делений мерной трубки, соответствующее увеличению количества жидкости на 1 см<sup>3</sup>.

### Вопросы для контроля

1. Классификация прессов для приготовления кормов.
2. Основные показатели процесса гранулирования.
3. Взаимодействие вальца гранулятора с материалом.
4. Какие существуют способы определения относительной влажности кормов?
5. Какое влияние на конструкцию бункеров оказывают углы откоса и обрушения?

Какое влияние на конструкцию транспортеров и их производительность оказывает численное значение коэффициента трения?

## **2.6 Лабораторная работа 6 (ЛР-6). (2 часа).**

**Тема:** Рабочие процессы и конструкция современных доильных аппаратов. Расчет молочной линии

**2.6.1 Цель работы:** Изучить рабочие процессы и конструкция современных доильных аппаратов. Расчет молочной линии

**2.6.2 Задачи работы:**

1. Изучить конструкцию современных доильных аппаратов
2. Провести теоретические расчеты молочной линии

**2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Доильный аппарат «Догер»
2. Доильный аппарат для коз TOPFLOW
3. Доильный аппарат для овец TOPFLOW
4. Передвижная доильная установка «Mobimelk»

**2.6.4 Описание (ход) работы:**

### **Расчет молочной линии доильных установок**

В соответствии с ГОСТ Р 52054-2003, молоко должно быть обработано в самое кратчайшее время (например, по этому ГОСТу охлаждение молока до температуры  $(4\pm 2)^{\circ}\text{C}$  должно быть проведено не позднее 2 часов после дойки).

Технология обработки молока на фермах включает в себя следующие операции – очистку, охлаждение и в случае необходимости пастеризацию. Кроме того часть молока может быть подвергнута сепарированию.

Расчет молочной линии начинают с определения **производительности доильной установки**.

Основная величина при определении этой производительности – время ручных работ  $t_p$ , затрачиваемое оператором машинного доения на каждое животное.

Это время складывается из основных подготовительно-заключительных операций  $t_{осн}$  (подмывание вымени, сдаивание первых струек молока, машинное додаивание, обработка сосков после доения, надевание и снятие стаканов с сосков вымени), вспомогательных операций  $t_{всп}$  (подключение аппарата к магистрали и его отключение и пр.) и транспортных работ  $t_{тр}$  (транспортирование ведер с молоком, горячей водой, переходы от одной коровы к другой).

$$t_p = t_{осн} + t_{всп} + t_{тр}$$

Следует подчеркнуть, что от качества и продолжительности этих работ зависит возбуждение и торможение рефлекса молокоотдачи у животного и, следовательно, количество и качество выдаиваемого молока.

Часовая производительность оператора

$$Q_o = \frac{60}{t_p}$$

Время ручных работ зависит от типа доильной установки и организации труда – на линейных доильных установках она больше (4 – 5 мин), на автоматизированных – меньше (0,5 – 1 мин).

В связи с тем, что время, отведенное на доение группы коров по зоотехническим нормам строго ограничено – 1,5 – 2 часа, количество операторов машинного доения можно рассчитать по формуле

$$Z_o = \frac{m \cdot t_p}{60T}$$

где  $m$  – поголовье животных,

$T$  – общее время доения стада, ч.

Если значение  $Z_o$  получается дробным, его округляют в сторону **увеличения**.

Часовая производительность установки

$$Q_{д.у} = Q_o Z_o$$

При доении на установках с переносными ведрами оператор за 1 ч двумя доильными аппаратами может выдоить 14...16 коров, в молокопровод тремя аппаратами – 18...25 коров. На современных доильных установках производительность труда операторов повышается за счет сокращения  $t_p$ . При автоматизации технологических операций, например в случае использования санитарно-подготовительных автоматизированных пунктов, опытные мастера могут обслужить четырьмя-пятью аппаратами 40...50 коров в час.

При работе с большим числом аппаратов, чем положено по расчетам, неизбежны систематические передержки доильных аппаратов на сосках вымени коров. Кроме того, при напряженной работе оператор быстрее устает и некачественно выполняет технологические операции. Поэтому необходимо правильно рассчитать оптимальное число доильных аппаратов, обслуживаемых одним оператором

$$Z_{an} = t_{м.д.} / t_p + 1,$$

где  $t_{м.д.}$  – продолжительность машинного доения коровы аппаратом без заключительного массажа и машинного додаивания (4...5 мин).

Если значение  $Z_{an}$  получается дробным, его округляют в сторону **уменьшения**.

Правильность расчета проверяют по соотношению

$$(Z_o Z_{an})_{расч} \leq (Z_o Z_{an})_{окр}.$$

Если это неравенство не выполняется, увеличивают число операторов.

В заключение подсчитывают число доильных установок ( $Z_{д.у}$ ) по общему числу рассчитанных доильных аппаратов

$$Z_{д.у} = \frac{(Z_o Z_{ап})_{окр}}{Z_{д.а}},$$

где  $Z_{д.а}$  – число доильных аппаратов, которыми оснащена доильная установка.

Можно посчитать и производительность всей установки

$$Q_{уст} = Z_o \frac{60}{t_p} = Z_o Q_o$$

Второй этап расчета молочной линии – *определение максимального часового количества молока*  $M$  кг/час, полученного от животных, которые содержатся в коровнике

$$M = \frac{Y \cdot N}{365T(100 - P)} K \text{ кг/час}$$

где  $Y$  – годовой удой от коровы, кг,

$N$  – количество коров, гол.,

$T$  – общее время доек в день, час.,

$P$  – процент сухостойных коров,

$K$  – коэффициент, учитывающий неравномерность поступления молока в зависимости от сезона ( $K = 1,1 - 1,2$ ).

Именно по этой величине, а не по  $M_{ср}$  рассчитывают все аппараты и механизмы молочной линии по очистке, первичной обработке и переработке (сепарированию) молока. При  $M_{ср}$  может возникнуть такая ситуация, при которой количество молока поступающего на обработку, будет больше количества молока, которые смогут переработать аппараты машин и поток будет нарушен. Иными словами расчет линии по максимальной часовой производительности обеспечивает поточность обработки, её своевременность и высокое качество молока.

**Количество холода** для обработки  $M$  молока подсчитывают по известному выражению

$$Q = M \cdot c (t_{нач} - t_{кон}) \text{ кДж}$$

Здесь необходимо обратить внимание на начальную ( $t_{нач}$ ) и конечную ( $t_{кон}$ ) температуры молока. Искусственный холод, вырабатываемый холодильными установками, используют только во второй (рассольной) секции охладителя. В этой секции циркулирует ледяная вода, имеющая температуру от 0°C до 3-4°C, или рассол,

имеющий минусовую температуру. В первой (водяной) применяют воду из скважин или колодцев, поэтому молоко во вторую секцию поступает охлажденным (12-15°C).

Учитывая потери холода в магистралях трубопроводов и в окружающую среду, определим

$$Q_{общ} = (1, 2 \dots 1, 3) Q \text{ кДж}$$

По этой величине подбираем холодильную установку.

Таким образом, температуры молока и охлаждающих агентов могут выглядеть следующим образом:

$t_{мн} = 30 \dots 35^\circ\text{C},$	$t_{мк} = 12 \dots 18^\circ\text{C},$	$\tau = 3;$	} водяная секция
$t_o = 10 \dots 15^\circ\text{C},$	$t_k = 12 \dots 20^\circ\text{C}$		
$t_{мн} = 12 \dots 18^\circ\text{C},$	$t_{мн} = 4 \dots 6^\circ\text{C},$	}	секция ледяной воды (рассольная)
$t_{оп} = -10 \dots 15^\circ\text{C},$	$t_{кр} = -3 \dots 4^\circ\text{C}$		

Процессы охлаждения свежесвыдоенного молока, а также охлаждение его при первичной обработке и переработке, являются строго обязательными в технологических линиях молочно-товарных ферм и молокозаводов. Эти процессы осуществляют на аппаратах, называемых охладителями молока.

Современные охладители можно классифицировать по самым разнообразным признакам, среди которых можно отметить:

- профиль рабочей поверхности (трубчатые или пластинчатые),
- относительное направление движения теплообменивающихся сред (противоточные, прямоточные и перекрестные),
- конструкцию (однорядные и многорядные пластинчатые),
- число секций (одно и многосекционные).

Наибольшее распространение сегодня получили пластинчатые, противоточные, многорядные (пакетные) охладители.

При выборе и расчете охладителей исходными данными являются производительность (поверхность охладителя) и температурный режим технологического процесса охлаждения молока.

#### Контрольные вопросы.

1. Какое влияние на производительность оператора машинного доения оказывает тип доильной установки?

2. Роль и значение первичной обработки молока.

Почему молочную линию рассчитывают по её минимальной часовой производительности?

## 2.7 Лабораторная работа 7, 8 (ЛР-7, 8). (4 часа).

**Тема:** Экспериментально-теоретическое определение коэффициента теплопередачи. Экспериментально-теоретические исследования и расчет пастеризаторов

**2.7.1 Цель работы:** Экспериментально-теоретическое определение коэффициента теплопередачи. Экспериментально-теоретические исследования и расчет пастеризаторов

### 2.7.2 Задачи работы:

1. Теоретическое определение коэффициента теплопередачи.
2. Теоретические исследования и расчет пастеризаторов
3. Схем включения пастеризатора в молочную линию

### 2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Пастеризационная установка ОПФ-1-300
2. Холодильная установка МХУ-8С
3. Экспериментальная доильная установка послеродового намораживания.
4. Термометр.
5. Секундомер

### 2.7.4. Описание (ход) работы:

#### Расчет оросительного противоточного охладителя

Рассмотрим схему двухсекционного охладителя (рис. 1). В первой секции охлаждение молока происходит за счет циркулирующей холодной воды, во второй – за счет ледяной воды или рассола, охлажденного до минусовой температуры.

Поскольку  $M$  и  $\tau$  величины переменные, составим дифференциальное уравнение теплового баланса: *количество теплоты, отдаваемое молоком, равно количеству теплоты, проходящей через аппарат* (потери пренебрегаем), то есть

$$-M \cdot c \cdot dt_m = KdF (t_m - t_e) \quad (1)$$

В уравнении (1) аргумент уменьшается, а функция увеличивается, поэтому поставлен знак «-».

Для решения этого уравнения составим уравнение теплового баланса между молоком и водой: количество теплоты, отданное молоком, равно количеству теплоты, полученному водой:

$$M \cdot c \left| t_m - (t_0 + \tau) \right| = nM(t_e - t_0) \quad (2)$$

где  $n = \frac{B}{M}$  – коэффициент кратности расхода воды,

$B$  – количество воды, израсходованной на охлаждение  $M$  молока.

Чтобы решить уравнение (1), нужно найти  $(t_m - t_e)$  и  $dt_m$ . Для этого в уравнении (2) сократим  $M$  и раскроем скобки

$$t_m - c - t_0c - \tau c = nt_e - nt_0, \text{ отсюда}$$

$$t_e = \frac{c(t_m - \tau) + t_0(n - c)}{n} \quad (3)$$

$$a \quad t_m - t_e = \frac{(n - c)(t_m - t_0) + c\tau}{n} \quad (4)$$

В этом уравнении  $t_m$  – величина переменная, поэтому можно продифференцировать его относительно  $t_m$ .

$$d \frac{(n - c)(t_m - t_0) + c\tau}{n} = \frac{n - c}{n} dt_m,$$

отсюда

$$dt_m = \frac{n}{n-c} d \frac{(n-c)(t_m - t_0) + c\tau}{n}$$

(5)

Обозначим

$$\frac{(n-c)(t_m - t_0) + c\tau}{n} = A,$$

подставим (4) и (5) в (1) и получим

$$\begin{aligned} -M \cdot c \frac{n}{n-c} dA &= K \cdot dF \cdot A \\ -M \cdot c \frac{n}{n-c} \frac{dA}{A} &= K dF. \end{aligned}$$

Проинтегрируем это уравнение

$$-M \cdot c \frac{n}{n-c} \int_{t_{\text{мн}}}^{t_0 + \tau} \frac{dA}{A} = K \int_0^F dF \quad (6)$$

Чтобы освободиться от знака «-», нужно поменять пределы интегрирования. Если к тому же учесть, что интеграл  $\int \frac{dx}{x} = \ln x$  является стандартным, то уравнение (6) примет следующий вид

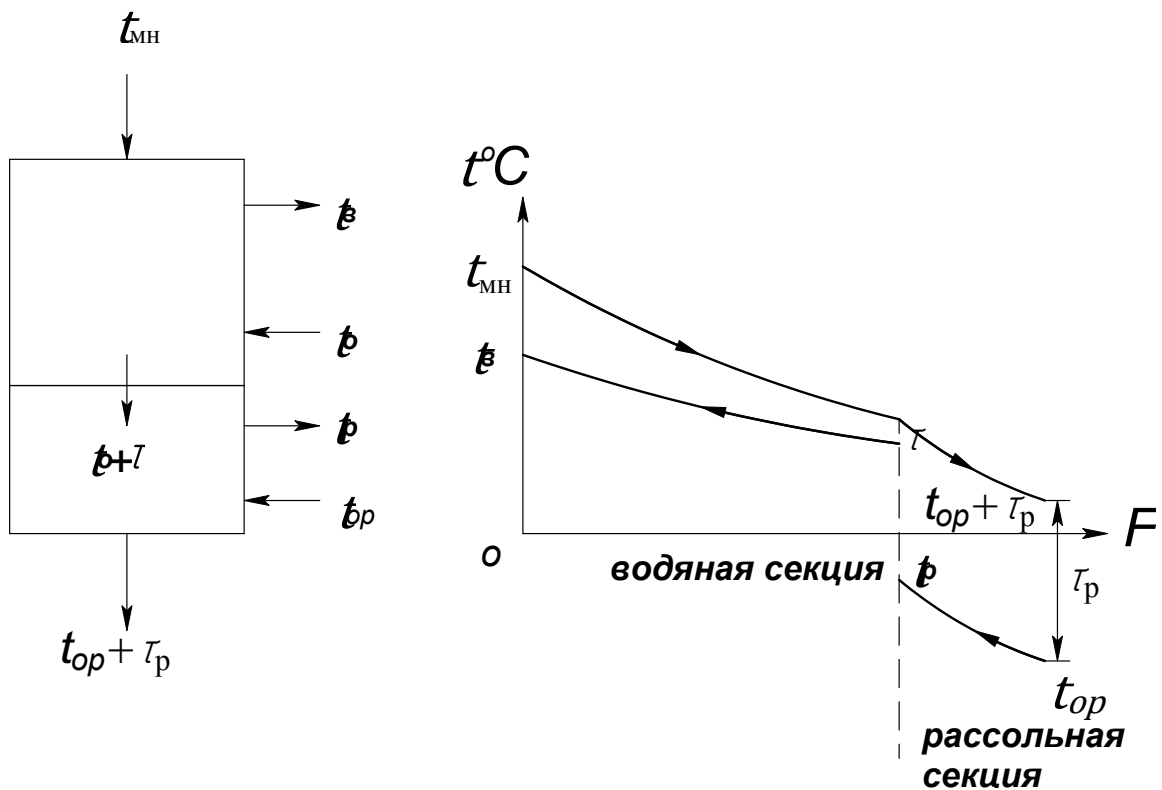


Рис. 1 - Температурная диаграмма двухсекционного охладителя

$$M \cdot c \frac{n}{n-c} \left| \ln \frac{(n-c)(t_m - t_o) + c\tau}{n} \right|_{t_{\text{оп}} + \tau_p}^{t_{\text{мн}}} = kF$$

Поставив пределы интегрирования и решив это уравнение, мы можем получить значение  $M$  или  $F$ .

$$F = \frac{M \cdot c}{k} \frac{n}{n - c} 2,3 \lg \frac{(n - c)(t_{\text{мн}} - t_o) + c \tau}{n \tau}$$

По этой формуле можно также найти зависимости между другими предельными величинами, например

$$F = f(n) \text{ или } F = f(\tau)$$

Методика расчета **рабочей поверхности рассольной секции охладителя** аналогична методике расчета поверхности водяной секции.

Она так же базируется на дифференциальном уравнении теплового баланса: **количество теплоты, отдаваемое молоком, равно количеству теплоты, проходящей через аппарат** (рассольную секцию охладителя).

При расчете нужно иметь ввиду, что  $c_p = 1,001...0,0776$  в зависимости от содержания соли. Температура замерзания рассола также зависит от содержания соли в рассоле – минимальная температура равна  $-21,2^\circ\text{C}$  при содержании соли 22,4% (почти прямая зависимость).

Аналогично расчету поверхности водяной секции

$$F_p = \frac{M \cdot c}{K_p} \frac{n_p c_p}{n_p c_p - c} \cdot 2,3 \lg \frac{(n_p c_p - c)(t_o + \tau - t_{op}) + c \tau_p}{n_p c_p \tau_p} \tau_p.$$

При расчете молочной линии следует обратить самое серьезное внимание на тщательность выбора всех параметров этой линии. Каждый из них, начиная от ручных затрат на выполнение основных технологических операций и кончая временем охлаждения молока, имеют исключительное значение для получения молока высокого санитарного качества.

К сожалению, на наших фермах часто получают молоко, не удовлетворяющее требованиям ГОСТ. По свидетельству директора Российского союза предприятий молочной отрасли В. Лабинова, европейцы вообще не стали бы покупать молоко у наших фермеров.

### Тепловой процесс пастеризатора

Нагревание жидкостей (вина) с целью уничтожения микроорганизмов впервые применил выдающийся французский ученый Луи Пастер (1822 – 1895гг.). Процесс (его называли пастеризацией) оказался настолько действенным, что его стали применять и для обработки других жидкостей, в частности молока.

Для пастеризации молока используют самые разнообразные аппараты (их называют пастеризаторами), тепловой процесс которых показан на рис. 28.

Молоко на обработку поступает тонким слоем и нагревается до температуры  $80...90^\circ\text{C}$ .

Теплопотери в пастеризаторе стараются снизить за счет различных конструктивных усовершенствований, в частности, применяют профильные тонкостенные пластины из материалов, обладающих большой теплопередачей. Это позволяет снизить массу аппарата, создаёт турбулентный поток молока, повышает прочность пастеризатора, в который молоко и теплоноситель (пар) поступают по давлению.

В процессе работы температура молока увеличивается от  $t_{\text{нач}}$  до  $t_{\text{кон}}$  (температура пастеризации). Пар непрерывно подается в аппарат, нагревает молоко, конденсируется и выводится наружу.

Аналогично расчету охладителя, составим дифференциальное уравнение теплового баланса: **количество теплоты, получаемое молоком, равно количеству теплоты, проходящему через пастеризатор**

$$M \cdot c \, dt = KdF (t_{\text{пара}} - t) \quad (1)$$



где  $t_{пара}$  – температура теплоносителя (пара), который непрерывно поступает в пастеризатор,

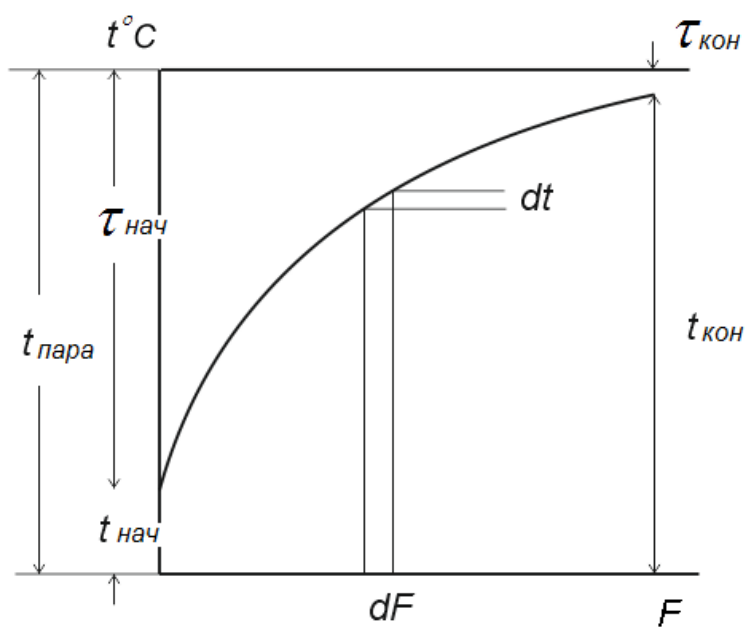


Рисунок 2 – Тепловой процесс пастеризации

$t$  – температура молока,

$K$  – коэффициент теплопередачи (для упрощения расчетов примем  $K = \text{const}$ ).

$$M \cdot c \frac{dt}{t_{\text{пара}} - t} = k dF$$

Проинтегрируем это выражение

$$M \cdot c \int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{кон}}} \frac{dt}{t_{\text{пара}} - t} = k \int_0^F dF \quad (2)$$

Поскольку  $d(t_{\text{пара}} - t) = -dt$ , а  $\int \frac{-dt}{t_{\text{пара}} - t} = \ln(t_{\text{пара}} - t)$ , приведем выражение (2) к

этому же виду, тогда

$$-M \cdot c \int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{кон}}} \frac{dt}{t_{\text{пара}} - t} = k \int_0^F dF$$

Чтобы избавиться от знака «-» перед уравнением, поменяем пределы интегрирования

$$M \cdot c \left| \ln(t_{\text{пара}} - t) \right|_{t_{\text{кон}}}^{t_{\text{нач}}} = kF$$

Окончательно

$$M \cdot c \ln \frac{t_{\text{пара}} - t_{\text{нач}}}{t_{\text{пара}} - t_{\text{кон}}} = kF$$

Откуда

$$F = \frac{M \cdot c}{k} 2,3 \lg \frac{t_{\text{пара}} - t_{\text{нач}}}{t_{\text{пара}} - t_{\text{кон}}} \quad (3)$$

Температура пара выбирается в зависимости от его давления.

Расход пара  $\Pi$  на пастеризацию молока определяют по формуле

$$\Pi = \frac{M \cdot c(t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})}{(i_{\Pi} - i_{\kappa})\eta_{\Pi}}$$

где  $i_{\Pi}$  и  $i_{\kappa}$  – теплосодержание пара и конденсата,

$\eta_{\Pi}$  – тепловой КПД пастеризатора.

#### Регенерация (восстановление) тепла

Во время первичной обработки молоко подвергают охлаждению и пастеризации, при этом расходуется большое количество энергии на работу холодильных установок и на нагревание молока при его пастеризации.

Чтобы уменьшить затраты энергии, применяют специальные аппараты регенераторы, в которых встречаются два потока молока – холодный и горячий (рис. 29).

Расчет регенератора сводится к определению его рабочей поверхности

$$F_{\text{рег}} = \frac{M \cdot cE}{K_{\text{рег}}(1 - E)}$$

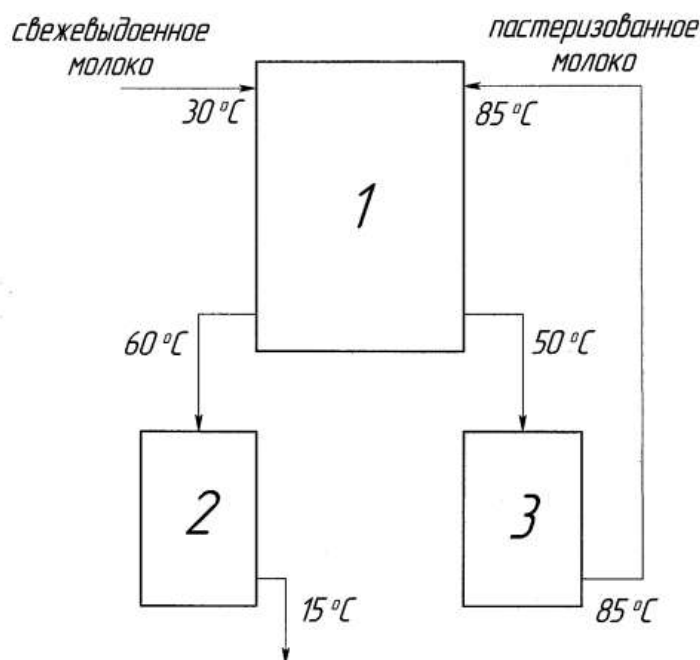


Рис. 3 Схема включения проточного регенератора в молочную линию: 1 – регенератор, 2 – охладитель, 3 – пастеризатор.

где  $E$  – коэффициент регенерации тепла, равный 0,6...0,7.

Разность температур процесса можно посчитать по формуле

$$t_{рег} = (1 - E)(t_{наст} - t_{рег}),$$

$$а \quad E = \frac{M \cdot c \cdot (t_{рег} - t_{нач})}{M \cdot c \cdot t_{наст} - t_{нач}} = \frac{t_{рег} - t_{нач}}{t_{наст} - t_{нач}}$$

Регенератор, смонтированный в технологической линии первичной обработки молока, экономит следующее количество тепла

$$Q_{эк} = M \cdot c \cdot \tau_{рег} \text{ кДж/час}$$

Контрольные вопросы.

3. Роль и значение первичной обработки молока.
4. Каковы особенности расчета холода при обработке молока?
5. Применение уравнений теплового баланса при расчете количества холода (тепла)?
6. Роль и значение пастеризации молока.
7. Тепловой процесс пастеризатора.
8. Схем включения пастеризатора в молочную линию.
9. Какое значение для молочного скотоводства имело создание сепаратора?
10. Покажите действие сил на молочный шарик и объясните, как происходит выделение сливок.

## **2.9 Лабораторная работа 9 (ЛР-9). (2 часа).**

**Тема:** Математическое моделирование процессов в животноводстве. Сервис и техническое обслуживание оборудования животноводства

**2.9.1 Цель работы:** Математически рассчитать процессы в животноводстве.

**2.9.2 Задачи работы:**

1. Изучить основные процессы в животноводстве
2. Научиться пользоваться теоремами Гаусса, Крамера при решении задач

**2.9.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Калькулятор
2. Линейка

**2.9.4 Описание (ход) работы:**

### **1. Классификация процессов первичной переработки сельскохозяйственной продукции**

Всё многообразие процессов первичной переработки продукции в АПК можно классифицировать следующим образом.

#### **1.1 Частичное обезвоживание высоковлажных продуктов термическим способом:**

- 1.1.1. Сушка зеленой травы с целью получения сенажа, сена, травяной муки;
- 1.1.2. Сушка фруктов, ягод, овощей, грибов;
- 1.1.3. Сушка натурального молока с целью получения сгущённого или сухого молока;
- 1.1.4. Сушка натуральных сливок с аналогичными целями;
- 1.1.5. Сушка свежих куриных яиц - яичный порошок;
- 1.1.6. Сушка рыбы, мяса;
- 1.1.7. Сушка кровяной муки на предприятиях по убою скота – кровяная мука;
- 1.1.8. Сушка сырого зерна; сырого сена;
- 1.1.9. Сушка макаронных изделий в процессе их производства;
- 1.1.10. Сушка сухарей из хлебобулочных изделий;
- 1.1.11. Сушка сока сахарной свеклы в процессе производства сахара;
- 1.1.12. Перегонка воды с целью получения дистиллированной воды;
- 1.1.13. Перегонка спиртосодержащих жидкостей с целью получения жидкостей с иным содержанием спирта;
- 1.1.14. Сушка строительных пиломатериалов

**1.2. Механическое разделение сырьевых продуктов на составные компоненты отжимом в поле центробежных сил (центрифугирование), отстоем в поле гравитационных сил, прессованием, разделением на решетных классификаторах, фильтрах, магнитных сепараторах:**

- 1.2.1. Отжим соков зеленых трав, соков свежих ягод, фруктов, овощей;
- 1.2.2. Отжим растительных масел из семян масличных культур;
- 1.2.3. Разделение молока на сливки и обезжиренное или нормализованное по жиру молоко;
- 1.2.4. Разделение жидкого навоза на густую и осветленную жидкую фракции;
- 1.2.5. Очистка зерна от посторонних примесей;
- 1.2.6. Сортировка сыпучих строительных материалов, зерна на размерные фракции;
- 1.2.7. Очистка молока, растительных и машинных масел от механических примесей;
- 1.2.8. Мойка корнеплодов.

**1.3. Смешивание различных веществ между собой с целью получения смесей с заданными физико-механическими, химическими или биологическими свойствами:**

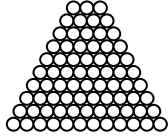
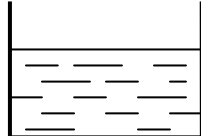
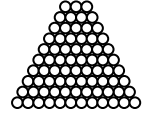
- 1.3.1. Смешивание моющих и дезинфицирующих веществ с водой;
- 1.3.2. Высококонцентрированных ядов, удобрений с водой с целью получения рабочих растворов;

- 1.3.3. Горячей и холодной воды с целью получения теплой воды;
- 1.3.4. Серной кислоты с дистиллированной водой для получения электролита свинцовых кислотных аккумуляторных батарей;
- 1.3.5. Сухого молока с водой для получения восстановленного молока (молочный напиток);
- 1.3.6. Сливков с маложирным молоком или обезжиренного молока с высокожирным молоком с целью получения нормализованного по жиру молока;
- 1.3.7. Спирта с водой и микродобавками для получения спиртных напитков;
- 1.3.8. Смешивание различных кормов между собой для получения кормосмесей;
- 1.3.9. Муки с водой и микродобавками для получения теста;
- 1.3.10. Сыпучих строительных материалов (цемент, песок, гравий, щебенка и т. д.) с водой;
- 1.3.11. Смешивание красок между собой или с растворителями.

Характерной особенностью **процессов первой группы** является разделение исходного продукта или сырья на частично (или полностью) обезвоженный остаток с заданной влажностью и чистую, практически дистиллированную воду с содержанием сухого вещества в ней "ноль" процентов, удаленную из сырья в виде пара.

Графическая интерпретация таких процессов может быть представлена следующим образом:

**Таблица 1**

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в процессе	Графическая интерпретация технологического процесса		
				
1	Название вещества	Сырьё	Испарившаяся вода	Конечный продукт
2	Масса или объем вещества	$M_c$	$M_e$	$M_{к.п.}$
3	Относительная влажность, %	$W_c$	$W_e = 100\%$	$W_{к.п.}$

где  $W_c$ ,  $W_e$ ,  $W_{к.п.}$  относительная влажность, соответственно, сырья, испарившейся воды и конечного продукта.  $W_{к.п.}$  В таких процессах всегда меньше  $W_c$ , т.е.  $W_{к.п.} < W_c$ .

При расчете этих процессов требуется определить либо выход конечного продукта при заданном количестве сырья, либо потребное количество сырья при заданном количестве продукта. Иногда требуется определять и выпаренное количество влаги, необходимое для расчета потребного количества тепла и, следовательно, топлива для испарения этой влаги, например, на огневых сушилках.

Математическая модель таких процессов будет иметь вид

$$M_C - M_B = M_{к.п.} \quad (1)$$

$$W_C M_C - 100 M_B = W_{к.п.} M_{к.п.} \quad (2)$$

где  $M_C$ ,  $M_B$ ,  $M_{к.п.}$  – масса сырья, влаги, конечного продукта соответственно;  $W_C$ ,  $W_{к.п.}$  – относительная влажность сырья и конечного продукта.

Уравнение (1) этой системы представляет собой уравнение баланса масс веществ, участвующих в процессе сушки сырья. Уравнение (2) – уравнение баланса влаги в этом процессе.

Решив систему уравнений (1) и (2), получим значения величин  $M_c$ ;  $M_b$ ;  $M_{к.п.}$

$$M_C = f(M_B; M_{K.П.}; W_C; W_B; W_{K.П.})$$

$$M_B = f(M_C; M_{K.П.}; W_C; W_B; W_{K.П.})$$

$$M_{K.П.} = f(M_B; M_C; W_C; W_B; W_{K.П.})$$

$$M_C = M_{K.П.} \frac{100 - W_{K.П.}}{100 - W_C} \quad (3)$$

$$M_C = M_B \frac{100 - W_{K.П.}}{W_C - W_{K.П.}} \quad (4)$$

$$M_{K.П.} = M_C \frac{100 - W_C}{100 - W_{K.П.}} \quad (5)$$

$$M_{K.П.} = M_B \frac{100 - W_C}{W_C - W_{K.П.}} \quad (6)$$

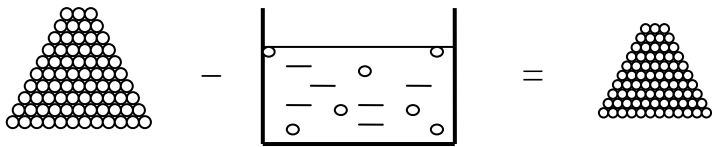
$$M_B = M_C \frac{W_C - W_{K.П.}}{100 - W_{K.П.}} \quad (7)$$

$$M_B = M_{K.П.} \frac{W_C - W_{K.П.}}{100 - W_C} \quad (8)$$

Именно в таком виде формулы (3)...(8) используются в литературе.

Особенностью **процессов второй группы** является получение жидких фракций, влажность которых всегда меньше 100%.

Графическая интерпретация таких процессов выглядит следующим образом: **Таблица 2**

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в процессе	Графическая интерпретация технологического процесса		
				
1	Название вещества	Сырьё	Жидкая фракция	Густая фракция
2	Масса или объем вещества	$M_c$	$M_{ж.ф.}$	$M_{з.ф.}$
3	Относительная влажность, %	$W_c$	$W_{ж.ф.}$	$W_{з.ф.}$

где  $W_c$ ;  $W_{ж.ф.}$ ;  $W_{з.ф.}$  - относительная влажность, соответственно, сырья жидкой фракции, густой фракции.

Численное значение влажности  $W_c$ ;  $W_{ж.ф.}$ ;  $W_{з.ф.}$  в процентах и количество одного из трех веществ, участвующих в процессе в массовых или объемных единицах обычно задается в качестве исходных данных. Количество двух других веществ определяется расчетным путем.

Математическая модель описанного процесса будет иметь вид:

$$M_c - M_{ж.ф.} = M_{з.ф.} \quad (9)$$

$$W_c M_c - W_{ж.ф.} M_{ж.ф.} = W_{з.ф.} M_{з.ф.} \quad (10)$$

Решив данную систему уравнений, получим по аналогии с (3...8) зависимости

$$M_c = f(M_{ж.ф.}; M_{з.ф.}; W_c; W_{ж.ф.}; W_{з.ф.})$$

$$M_{ж.ф.} = f(M_c; M_{з.ф.}; W_c; W_{ж.ф.}; W_{з.ф.})$$

$$M_{з.ф.} = f(M_{ж.ф.}; M_c; W_c; W_{ж.ф.}; W_{з.ф.})$$

Конечные формулы имеют следующий вид:

$$M_c = M_{г.ф.} (W_{ж.ф.} - W_{г.ф.}) / (W_{ж.ф.} - W_c)$$

$$M_c = M_{ж.ф} (W_{ж.ф} - W_{г.ф}) / (W_c - W_{г.ф})$$

$$M_{г.ф} = M_c (W_{ж.ф} - W_c) / (W_{ж.ф} - W_{г.ф})$$

$$M_{г.ф} = M_{ж.ф} (W_{ж.ф} - W_c) / (W_c - W_{г.ф})$$

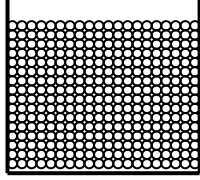
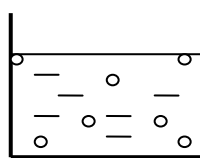
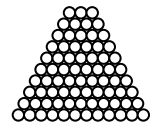
$$M_{ж.ф} = M_c (W_c - W_{г.ф}) / (W_{ж.ф} - W_{г.ф})$$

$$M_{ж.ф} = M_{г.ф} (W_c - W_{г.ф}) / (W_{ж.ф} - W_c)$$

В качестве конкретного примера **процессов второй группы** рассмотрим моделирование процесса получения подсолнечного масла.

Графическая интерпретация этого процесса будет выглядеть следующим образом:

**Таблица 3**

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в процессе	Графическая интерпретация технологического процесса		
				
1	Название вещества	Семена подсолнечника	Подсолнечное масло	Подсолнечный жмых
2	Масса вещества	$M_c$	$M_m$	$M_{ж.м.}$
3	Относительное содержание растительного жира, %	$Ж_c$	$Ж_m$	$Ж_{ж.м.}$

где  $Ж_c$ ;  $Ж_m$ ;  $Ж_{ж.м.}$  процентное содержание растительного жира, соответственно, в семенах подсолнечника, в подсолнечном масле и подсолнечном жмыхе.

Математическая модель процесса получения подсолнечного масла имеет вид:

$$M_c - M_m = M_{ж.м.} \quad (11)$$

$$Ж_c M_c - Ж_m M_m = Ж_{ж.м.} M_{ж.м.} \quad (12)$$

Решив систему уравнений (11) и (12) в общем виде, получим конечные формулы:

$$M_m = M_{жм} (Ж_c - Ж_m) / (Ж_m - Ж_c)$$

$$M_m = M_c (Ж_c - Ж_m) / (Ж_m - Ж_{жм})$$

$$M_{жм} = M_m (Ж_m - Ж_c) / (Ж_c - Ж_{жм})$$

$$M_{жм} = M_c (Ж_m - Ж_c) / (Ж_m - Ж_{жм})$$

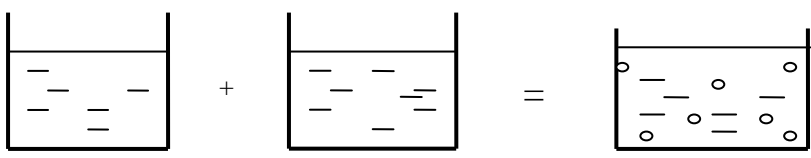
$$M_c = M_{жм} (Ж_m - Ж_{жм}) / (Ж_m - Ж_c)$$

$$M_c = M_m (Ж_m - Ж_{жм}) / (Ж_c - Ж_{жм})$$

Моделирование **процессов третьей группы** покажем на примере приготовления электролита различной плотности для свинцовых аккумуляторных батарей.

**Таблица 4**

№	Название и	Графическая интерпретация технологического процесса
---	------------	---

	физические свойства веществ, участвующих в процессе			
1	Название вещества	Серная кислота	Дистиллированная вода	Электролит
2	Объем вещества, см <sup>3</sup>	$V_k$	$V_v$	$V_{эл}$
3	Плотность, г/см <sup>3</sup>	$\rho_k$	$\rho_v$	$\rho_{эл}$

Математическая модель процесса

$$V_k + V_v = V_{эл} \quad (13)$$

$$\rho_k V_k + \rho_v V_v = \rho_{эл} V_{эл}$$

После решения системы (13); (14) конечные формулы будут иметь следующий вид:

$$V_k = V_{эл} (\rho_{эл} - \rho_v) / (\rho_k - \rho_{эл})$$

$$V_k = V_{эл} (\rho_{эл} - \rho_v) / (\rho_k - \rho_{эл})$$

$$V_v = V_k (\rho_k - \rho_{эл}) / (\rho_{эл} - \rho_v)$$

$$V_v = V_{эл} (\rho_k - \rho_{эл}) / (\rho_k - \rho_v)$$

$$V_{эл} = V_k (\rho_k - \rho_v) / (\rho_{эл} - \rho_v)$$

$$V_{эл} = V_v (\rho_k - \rho_v) / (\rho_k - \rho_{эл})$$

Надеемся читатель убедился в трудности использования метода продуктового расчета, основанного на использовании готовых конечных формул. Алгоритма запоминания названных формул не существует. Для использования этого метода необходимо иметь значительный объем справочной литературы, охватывающей всё многообразие процессов первичной переработки продукции в АПК.

Алгоритм математического моделирования процессов первичной переработки продукции не требует наличия справочной литературы, запоминания готовых конечных формул.

Рассмотрим этот алгоритм подробнее.

## 2. Алгоритм математического моделирования процессов первичной переработки продукции в АПК

Прежде чем приступить к расчету любого из перечисленных выше процессов, необходимо тщательно изучить поставленную задачу, выучить на память содержание задачи, выделить в ней главное - что дано и что требуется определить расчетным путем. Необходимо ясно представлять **сущность, смысл, идею и графическую интерпретацию** технологического процесса.

После этого вычертить и заполнить таблицу.

Рассмотрим это на примере 1:

*Вычислить количество сливок жирностью 20% и количество молока жирностью 2,5%, полученных при нормализации 1000 кг высокожирного молока жирностью 4,2%*

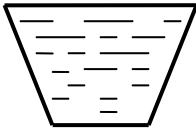
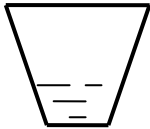
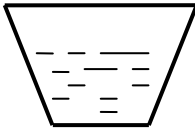
**Сущность процесса – отъём сливок от молока повышенной жирности с целью получения оставшегося молока меньшей стандартной жирности.** Нам неважно знать, как это делается, на каких машинах, как этот процесс растянут во времени. Надо знать ответ только на два вопроса - сколько получится сливок и сколько нормализованного молока?

Обозначим количество сливок  $X$ , количество нормализованного молока  $Y$  и приступим к заполнению таблицы № 5.

### Расчет процесса нормализации высокожирного молока



Таблица 5

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в технологическом процессе	Графическая интерпретация технологического процесса		
				
	1	2	3	4
1	Точное название вещества	Высокожирное молоко	Сливки	Нормализованное молоко
2	Масса (объем) вещества, кг; л.	1000	X	Y
3	Содержание жира в веществах, %	4,2	20	2,5

### Особенности таблицы

3. Число столбцов в таблице, не считая первого, определяется численностью веществ, участвующих в процессе переработки. В общем случае оно колеблется от трех до нескольких десятков. Необходимо строго соблюдать правило - **для каждого вещества свой столбец.**

4. Число строк в таблице определяется численностью заданных физических свойств веществ. Но и здесь требуется строгое соблюдение правила - первая строка всегда отводится для **точного названия** вещества, вторая - для записи масс или объемов веществ, участвующих в процессе. Последующие строки (3-я; 4-я...) служат для записи числовых значений физических свойств: влажности, жирности, плотности, кислотности, питательности и т.д.

Обращаем внимание читателя на термин «**точное название вещества**» в строке 1 в силу его огромной важности. Невнимательный читатель может написать в строке 1 таблицы, например, такие названия: молочная цистерна, бак со сливками, бочка с молоком. Получится абсурд.

Цистерна, бак, бочка - это предметы, тара, оборудование в конце-концов, но никак не вещество. Эти предметы не могут иметь жирность, плотность и т.д.

И последнее. Математические знаки «-»; «+»; «=» в графической интерпретации необходимо писать точно на границе между двумя смежными столбцами.

Дальнейшая последовательность расчетов будет такой.

1. После заполнения таблицы, используя графическую интерпретацию процесса и строку № 2, необходимо составить уравнение баланса масс (объемов) веществ в процессе переработки. В примере 1 это уравнение будет иметь вид:

$$1000 - X = Y \quad (15)$$

2. Составить второе уравнение - уравнение баланса физического свойства (в примере 1 - уравнение баланса жира). Для этого необходимо каждый член **первого** уравнения **умножить** на физическую характеристику вещества, представленного в уравнении числом или условным обозначением, сохранив при этом знаки «-»; «+»; «=» такими, как в первом уравнении. Другая формулировка правила получения второго уравнения. Для составления второго уравнения необходимо **перемножить** данные строки 2 и строки 3 в одноименных столбцах, сохранив математические знаки «-»; «+»; «=» как в первом уравнении.

В примере таблицы 5 второе уравнение будет иметь вид:

$$4,2 \times 1000 - 20X = 2,5Y \quad (16)$$

Перепишем полученные уравнения еще раз

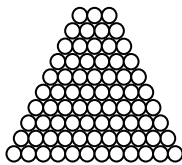
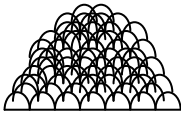

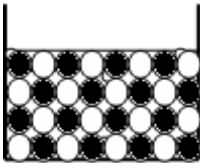
$$1000 - X = Y \quad (15)$$

$$4200 - 20X = 2,5Y \quad (16)$$

Мы получили математическую модель процесса нормализации высокожирного молока до молока стандартной жирности. Решив систему (15), (16), получим  $X = 97$  кг;  $Y = 903$  кг. Рассмотрим еще несколько примеров получения математических моделей.

**Пример 2.** В смеситель засыпали измельченный картофель влажностью 70% и питательностью 0,3 к.ед./кг; концентраты влажностью 13%, питательностью 0,95 к.ед./кг; силос влажностью 75%, питательностью 0,25 к.ед./кг. Масса смеси оказалась равной 800 кг, средняя влажность 58%, а питательность смеси 0,44 к.ед./кг.

Определить массу картофеля, концентратов и силоса, вошедших в состав кормосмеси. **Расчет потребности кормов для приготовления кормосмеси** **Таблица 6**

№	Название и физические свойства веществ, участвующих в процессе	Графическая интерпретация процесса получения кормосмеси			
					
	1	2	3	4	5
1	Точное название вещества	картофель	концентраты	силос	кормосмесь
2	Масса кормов, кг	X	Y	Z	800
3	Влажность кормов, %	70	13	75	58
4	Питательность кормов, к.ед./кг	0,3	0,95	0,25	0,44

Математическая модель процесса имеет вид

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$70X + 13Y + 75Z = 58 \times 800 \quad (18)$$

$$0,3 X + 0,95 Y + 0,25Z = 0,44 \times 800 \quad (19)$$

Решив полученную систему уравнений, будем иметь:

$$X = 240 \text{ кг};$$

$$Y = 200 \text{ кг};$$

$$Z = 360 \text{ кг}$$

**Пример 3.** Свежие ягоды клубники, влажностью 80% и содержанием сахара 5%, высушили до влажности 13%. Во сколько раз увеличится содержание сахара в сухой клубнике, если весь сахар при сушке остается в ягодах?

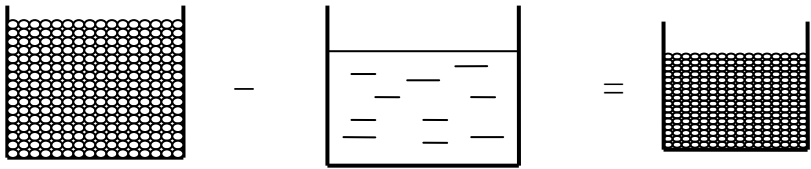
**Примечание.** В процессах 1-го вида - испарение, выпаривание влаги - при расчете процесса целесообразнее использовать не относительную влажность веществ, а содержание абсолютно сухого остатка.

Этот прием позволяет значительно облегчить решение системы уравнений, так как одно из уравнений получается с одним неизвестным. Заполняем таблицу 7.

**Расчет процентного содержания сахара в сухих ягодах клубники**

**Таблица 7**

№	Название и	Графическая интерпретация процесса получения кормосмеси
---	------------	---

	физические свойства веществ, участвующих в процессе			
	1	2	3	4
1	Точное название вещества	Свежая ягода клубники	Испарившаяся вода	Сухая ягода клубники
2	Масса веществ, кг	$X$	$Y$	$Z$
3	Величина <b>абсолютно сухого остатка</b> , %	20	0	87
4	Содержание сахара, %	5	0	$P$

Математическая модель процесса

$$X - Y = Z \quad (20)$$

$$20 X - 0 = 87 Z \quad (21)$$

$$5 X - 0 = P Z \quad (22)$$

Из уравнения (22) находим содержание сахара « $P$ » в сухих ягодах клубники.

$$P = 5 \frac{X}{Z} \quad (23)$$

Отношение  $\frac{X}{Z}$  находим из уравнения (21).

$$\frac{X}{Z} = \frac{87}{20}$$

Таким образом, 5-ти процентное содержание сахара в свежей клубнике при сушке увеличится в 4,35 раза и составит 21,75%.

**Пример 4.** В молочном цехе смонтирована поточная линия по производству сгущенного молока с сахаром со следующими свойствами:

- Содержание сахара свекловичного 15%,
- Содержание жира 8%.
- Общее содержание сухого остатка – 30 %

Производительность линии 1000кг «сгущенки» в сутки.

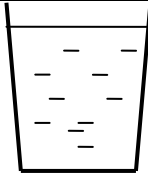
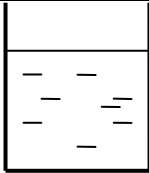

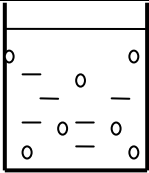
Определить суточную потребность в сырье:

5. Нормализованного молока, его жирность, если содержание сухого остатка в нем 12%;
6. Сахарного песка влажностью 13%;
7. Количество выпаренной воды, кг/сут.

Вариации исходных данных в этой задаче могут быть весьма разнообразными. Это один из вариантов. Ниже мы убедимся, как легко решаются подобного рода задачи методом математического моделирования. Заметим попутно, что значение численной величины массы выпаренной воды позволит в дальнейшем рассчитать количество тепловой энергии, потребной на выпаривание воды из натурального молока, помятуя о теплоте испарения воды.

#### Расчет процесса получения сгущенного молока с сахаром Таблица 8

№	Название и	Графическая интерпретация процесса
---	------------	------------------------------------

п/п	физические свойства веществ, участвующих в процессе				
	1	2	3	4	5
1	Точное название вещества	Натуральное молоко	Выпаренная вода	Сахар свекловичный	Сгущенное молоко с сахаром
2	Масса веществ, кг/сут	$X$	$Y$	$Z$	1000
3	Содержание жира, %	$Ж_m$	0	0	8
4	Содержание абсолютно сухого остатка, %	12	0	87	30
5	Содержание свекловичного сахара, %	0	0	100	15

Математическая модель процесса

$$X - Y - Z = 1000 \quad (24)$$

$$Ж_m \times X - 0 + 0 = 8 \times 1000 \quad (25)$$

$$12X - 0 + 87Z = 30 \times 1000 \quad (26)$$

$$0 - 0 + 100Z = 15 \times 1000 \quad (27)$$

Обратим внимание читателя на то, что уравнение (27) в полученной системе оказалось с одним неизвестным. Из него сразу получаем значение  $Z = 150 \text{ кг}$

Дальнейший ход решения комментарий не требует.

$$X = 1412,5 \text{ кг}; Z = 150 \text{ кг};$$

$$Y = 562,5 \text{ кг}; Ж_m = 5,66 \text{ \%}.$$

Но не все так прозрачно, как кажется на первый взгляд. Чтобы у читателя не сложилось «несерьезное» отношение к решению систем 3-х; 4-х и более уравнений сообщим, что **пример 4** подобран специально. Его особенность в том, что коэффициенты при неизвестных  $X$ ;  $Y$ ;  $Z$  в трех уравнениях из четырех равны нулю. Однако чаще всего при решении подобных задач все коэффициенты при неизвестных отличны от нуля.

**Пример 5.** Суточный рацион коровы, скармливаемый в виде кормосмеси 24 кг/сут, состоит из сена, корнеплодов, сенажа и комбикорма. Характеристика этих кормов имеет следующие показатели - таблица 9.

Рассчитать количество сена, корнеплодов, сенажа и комбикорма, необходимого для получения кормосмеси, содержащей 23 г/кг протеина, 4,1 МДж/кг обменной энергии и 0,37 к.ед/кг питательности (таблица 10).

#### Характеристика кормов

Таблица 9

№ п/п	Показатели	Сено	Корнеплоды	Сенаж	Комбикорм	Кормосмесь
	1	2	3	4	5	6

1	Содержание протеина, г/кг	82	13	39	1,4	24
2	Содержание обменной энергии, МДж/кг	4,6	1,25	3,6	10,2	4,1
3	Питательность к.ед/кг	0,47	0,13	0,3	0,95	0,37

Заполняем таблицу № 10.

### Расчет состава кормосмеси

Таблица 10

№ п/п	Название и физические свойства кормов	Графическая интерпретация				
						
	1	2	3	4	5	6
1	Название корма	сено	корнеплоды	сенаж	комбикорм	кормосмесь
2	Масса кормов, кг	X	Y	Z	K	24
3	Содержание протеина, г/кг	82	13	39	1,4	23
4	Питательность, к.ед/кг	0,47	0,13	0,3	0,95	0,37
5	Содержание обменной энергии МДж/кг	4,6	1,25	3,6	10,2	4,1

Математическая модель кормосмеси имеет следующий вид:

$$X+Y+Z+ K = 24 \quad (28)$$

$$82 X+ 13Y+ 39Z+ 1,4K= 23 \times 24 \quad (29)$$

$$0,47 X+ 0,13 Y+ 0,3 Z+ 0,95 K= 0,37 \times 24 \quad (30)$$

$$4,6 X+ 1,25 Y+ 3,6 Z+ 10,2 K= 4,1 \times 24 \quad (31)$$

Выполнив умножение в правой части уравнений, получим окончательный вид математической модели:

$$X+Y+Z+ K= 24$$

$$82X+ 13Y+ 39Z+ 1,4K= 552$$

$$0,47 X+ 0,13 Y+ 0,3 Z+ 0,95 K= 8,88$$

$$4,6 X+ 1,25 Y+ 3,6 Z+ 10,2 K= 98,4$$

Решив данную систему получим:

$$X = 0,04\text{кг}; Z = 11,22\text{кг}$$

$$Y = 8,06\text{кг}; K = 4,7\text{кг}.$$

Результаты расчетов показывают, что сено в рацион можно не включать.

**Пример 6.** Из суточной нормы кормления свиноматки на долю зерновых кормов (ячмень) приходится 4,5 кормовых единиц (к.ед./гол.). Питательность абсолютно сухого ячменя равна 1,24 к.ед./кг. Сколько голов N свиноматок может прокормить 1га посевов ячменя в течение года, если урожайность зерна на нем составляет 3000 килограмм на гектар при влажности зерна 15%.

### Алгоритм решения

1. Вычисляется количество абсолютного сухого зерна, получаемого с 1 га посевов. Для этого заполняем таблицу 11. **Расчет количества абсолютно сухого ячменя, получаемого с 1га посевов.**

**Таблица 11**

№	Название и физические характеристики веществ	Графическая интерпретация процесса получения кормосмеси		
			–	
	1	2	3	4
1.	Точное название вещества	Сырое зерно	Испарившаяся вода	Абсолютно сухое зерно
2.	Масса, кг/га	3000	X	Y
3.	Содержание абсолютно сухого вещества, %	85	0	100

Математическая модель получения абсолютно сухого ячменя:

$$3000 - X = Y \quad (32)$$

$$85 \times 3000 = 100Y \quad (33)$$

Из уравнения (33) находим

$$Y = \frac{85 \cdot 3000}{100} = 2550 \text{ кг/га}$$

2. Определяется количество абсолютно сухого ячменя, требующееся на одну свиноматку в течении года -  $G$  год/гол.

$$G_{\text{год}} = \frac{4,5 \frac{\text{кг}}{\text{сут} \cdot \text{гол}}}{1,24 \frac{\text{кг}}{\text{сут}}} \cdot 365 \frac{\text{сут}}{\text{год}} = 1324 \frac{\text{кг}}{\text{год} \cdot \text{гол}}$$

3. Определяется количество свиноматок, которое можно прокормить в течение года урожаем ячменя с одного гектара

$$N = \frac{2550 \text{ кг/га}}{1324 \text{ кг/год} \cdot \text{гол}} = 1,92, \text{ т.е. 2 головы/га}$$

Подводя итог сказанному, можно сделать следующий вывод - самым главным и в большинстве случаев самым легким этапом в расчете процессов при обработке продукции растениеводства и животноводства является этап получения математической модели процесса в форме системы «n» уравнений с «n» неизвестными. Очевидность и легкость этого этапа зачастую вызывает у читателя **невнимательность, поспешность** и, как следствие, составление неверной математической модели процесса со всеми вытекающими из этого последствиями. Действительные трудности и большой объем вычислительных операций вызывает решение систем двух, трех и более уравнений с соответствующим числом неизвестных. На компьютерах можно решать системы из нескольких десятков уравнений с соответствующим числом неизвестных. Для решения таких систем используют либо метод Крамера (с помощью определителей), либо метод Гаусса, заключающийся в последовательном исключении неизвестных. Для решения на ЭВМ систем линейных уравнений пользуются готовыми пакетами прикладных программ.

Однако, читатель должен ясно представлять себе **алгоритм** программ, работающих в компьютере. Кроме того, решать систему двух, трех уравнений с соответствующим числом неизвестных на персональном компьютере все равно, что «стрелять из пушки по воробьям». Поэтому мы сочли уместным напомнить читателю некоторые сведения из линейной алгебры по использованию методов Гаусса и Крамера при решении систем линейных уравнений с помощью простых микрокалькуляторов.

### 3. Системы линейных уравнений

#### Определения.

Линейным уравнением называется такое уравнение, в котором все неизвестные имеют первую степень

$$AX + BY + CZ = D; \quad (34)$$

Здесь  $X; Y; Z$ ; имеют первую степень. Поэтому данное уравнение называется линейным.

Системой линейных уравнений называется множество линейных уравнений с неизвестными  $X, Y, Z, \dots$ , в которых численные значения этих неизвестных, будучи подставленными во все уравнения системы, обращает их в **тождества**. Таким образом, решением системы уравнений являются числовые значения неизвестных, полученные в результате вычислительных операций над системой. В общем случае система может иметь одно решение, может иметь бесконечное множество решений, а может и не иметь ни одного решения. Например, система

$$X + Y + Z = 0 \quad (35)$$

$$2X + 2Y + 2Z = 2 \quad (36)$$

$$3X + 3Y + 3Z = 3 \quad (37)$$

решений не имеет, так как, если бы решение существовало, то  $X + Y + Z$  равнялось бы одновременно и нулю и единице.

Системы, не имеющие решений, называются **несовместными**, а имеющие решения - **совместными**.

Совместная система линейных уравнений называется **определенной**, если она имеет только одно решение, т.е. существует только один набор числовых значений неизвестных, который обращает все уравнения системы в тождества.

Совместная система линейных уравнений называется **неопределенной**, если решений больше, чем одно. Например, система

$$X + Y - Z = 36 \quad (38)$$

$$X - Y + Z = 13 \quad (39)$$

$$-X + Y + Z = 7 \quad (40)$$

имеет несколько решений. Предоставляем читателю возможность самому найти решения этой системы.

Во всех примерах и задачах данного «Учебного пособия» математические модели представлены только **совместными** и **определенными** системами линейных уравнений.

Но и это не все. На решения представленных в «Пособии» примеров накладывается еще одно условие – **неотрицательность результата решений**, т.е. после решения численное значение ни у одного неизвестного не может иметь знак «минус». Если, например, неизвестное  $K$  в примере 5 в результате решения окажется отрицательным, то это означает, что комбикорм в кормосмесь надо не прибавлять, а отнимать его из кормосмеси. Еще больший абсурд получится при решении системы в примере 1 (уравнения 15, 16),

$$1000 - X = Y \quad (15)$$

$$4200 - 20X = 2,5Y \quad (16)$$

если неизвестное, например  $Y$ , окажется со знаком «минус». Напомним -правильное решение:  $X = 97$  кг,  $Y = 903$  кг. Если же  $Y = -903$  кг, тогда из уравнения (15)  $X = 1000 - (-903) = 1903$  кг. Как можно из 1000кг молока получить 1903кг сливок?

К сожалению, иногда встречаются читатели, которые, нисколько не задумываясь над абсурдностью полученных результатов, выдают подобные ответы за истину.

### 3.1. Решение систем линейных уравнений методом Гаусса - методом последовательного исключения неизвестных.

Рассмотрим применение метода Гаусса для решений системы трех линейных уравнений с тремя неизвестными из примера 2.

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$70X + 13Y + 75Z = 46400 \quad (18)$$

$$0,3X + 0,95Y + 0,25Z = 352 \quad (19)$$

Последовательность процедуры такова:

1. Надо исключить неизвестное  $X$  из уравнения (18). Для этого все члены уравнения (17) необходимо умножить на коэффициент при  $X$  в уравнении (18). Этот коэффициент равен 70. Строго говоря, надо все члены уравнения (17) умножить на отношение коэффициента при  $X$  в уравнении (18) к коэффициенту при  $X$  в уравнении (17), т.е. все члены уравнения (17) надо умножить на дробь  $70/1$  и переписать систему заново

$$70X + 70Y + 70Z = 70 \times 800 \quad (17.1)$$

$$70X + 13Y + 75Z = 46400 \quad (18)$$

$$0,3X + 0,95Y + 0,25Z = 352 \quad (19)$$

2. Теперь необходимо вычесть почленно уравнение (18) из уравнения (17.1). Полученное новое уравнение надо записать на место уравнения (18).

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$57Y - 5Z = 9600 \quad (18.1)$$

$$0,3X + 0,95Y + 0,25Z = 352 \quad (19)$$

3. Для исключения  $X$  из уравнения (19) по аналогии с предыдущими действиями все члены уравнения (17) умножить на 0,3; точнее на отношение  $0,3/1$

$$0,3X + 0,3Y + 0,3Z = 240 \quad (17.2)$$

$$57Y - 5Z = 9600 \quad (18.1)$$

$$0,3X + 0,95Y + 0,25Z = 352 \quad (19)$$

8. Вычесть уравнение (17.2) из уравнения (19) и полученное новое уравнение (19.1) записать на месте уравнения (19).

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$57Y - 5Z = 9600 \quad (18.1)$$

$$0,65Y - 0,05Z = 112 \quad (19.1)$$

5. Теперь, не трогая уравнение (17) надо исключить неизвестное  $Y$  из уравнения (19.1). Для этого каждый член уравнения (18.1) умножим на дробь  $0,65/57$ . Здесь  $0,65$  - коэффициент при  $Y$  в уравнении (19.1), а  $57$  - коэффициент при  $Y$  в уравнении (18.1).  $X + Y + Z = 800$

$$\frac{0,65}{57} * 57Y - \frac{0,65}{57} * 5Z = \frac{0,65}{57} * 9600$$

$$0,65Y - 0,05Z = 112$$

Перепишем систему, произведя сокращения

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$0,65Y - 0,05Z = 109,5 \quad (18.2)$$

$$0,65Y - 0,05Z = 112 \quad (19.1)$$

6. Вычтем уравнение (18.2) из уравнения (19.1) и перепишем систему.

$$X + Y + Z = 800 \quad (17)$$

$$0,65Y - 0,05Z = 109,5 \quad (18.2)$$

$$0,007Z = 2,5 \quad (19.2)$$

Полученное уравнение (19.2) - уравнение с одним неизвестным  $Z$ , из которого находим



$$Z = \frac{2,5}{0,007} = 357 \text{ кг}$$

Из уравнения (18.2)  $Y = 200$  кг.;

Из уравнения (17)  $X = 243$  кг.

Метод Гаусса для решения систем линейных уравнений в силу своей простоты и однотипности выполняемых операций очень хорошо подходит для использования на ЭВМ. Существенным недостатком этого метода является невозможность сформулировать **условия совместности и определенности** системы в зависимости от значений коэффициентов и свободных членов. С другой стороны, даже в случае определенной системы, этот метод не позволяет найти общие формулы, выражающие решение системы через ее коэффициенты и свободные члены, которые необходимо иметь при анализе уравнений.

### 3.2. Решение систем линейных уравнение методом Крамера

#### 3.2.1. Элементы теории определителей.

**Определитель второго порядка.** Определители впервые были введены для решения системы уравнений первой степени в 1750 г. Швейцарский математик Г.Крамер дал общие формулы, выражающие неизвестные через определители, составленные из коэффициентов системы. Примерно через сто лет теория определителей, выйдя далеко за пределы алгебры, стала применяться во всех математических науках.

Рассмотрим таблицу вида:

$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix} \quad (41)$$

где,  $a_1; b_1; a_2; b_2$  - некоторые числа. Любая такая таблица называется матрицей второго порядка. Числа  $a_1 b_1 a_2, b_2$  называются элементами матрицы.

Число, равное  $a_1 b_2 - a_2 b_1$ , называется **определителем матрицы** или определителем второго порядка и обозначается  $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = \Delta$

Итак, по определению определитель матрицы равен

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1 b_2 - a_2 b_1 \quad (42)$$

Рассмотрим систему двух линейных уравнений из примера 1

$$X + Y = 1000$$

$$20X + 2,5Y = 4200$$

$$\text{здесь } \Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 20 & 2,5 \end{vmatrix} = 1 \cdot 2,5 - 1 \cdot 20 = -17,5$$

Если столбец коэффициентов при неизвестном  $X$  в этом определителе матрицы заменить на столбец свободных членов, то получим новый определитель  $\Delta X$ :

$$\Delta X = \begin{vmatrix} 1000 & 1 \\ 4200 & 2,5 \end{vmatrix} = 1000 \times 2,5 - 4200 \times 1 = -1700$$

Если столбец коэффициентов при неизвестном  $Y$  заменить на столбец свободных членов, то получим определитель:

$$\Delta Y = \begin{vmatrix} 1 & 1000 \\ 20 & 4200 \end{vmatrix} = 1 \times 4200 - 20 \times 1000 = -15800$$

Решение системы двух **данных** уравнений по способу Крамера будет иметь вид:

$$X = \frac{\Delta X}{\Delta} = \frac{-1700}{-17,5} = 97$$

$$Y = \frac{\Delta Y}{\Delta} = \frac{-15800}{-17,5} = 903$$

### 3.2.2. Определитель третьего порядка.

Рассмотрим **квадратную** таблицу вида:

$$\begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix} \quad (43)$$

где  $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3$  - некоторые числа. Любая такая таблица называется матрицей третьего порядка.

Определитель матрицы (42), или определитель третьего порядка, обозначается

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} \quad (44)$$

Этот определитель выражается через определители второго порядка следующим образом:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 \begin{vmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} - b_1 \begin{vmatrix} a_2 & c_2 \\ a_3 & c_3 \end{vmatrix} + c_1 \begin{vmatrix} a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 \end{vmatrix} \quad (45)$$

Раскрывая определители второго порядка по формуле (45) предыдущего пункта, находим, что

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3 + a_3 b_1 c_2 + a_2 b_3 c_1 - a_3 b_2 c_1 \quad (46)$$

Формулу (45) запомнить значительно легче, чем формулу (46), если заметить следующее правило построения слагаемых в правой части равенства (44):

Берем первый элемент первой строки матрицы (43), т.е.  $a_1$  и умножаем его на определитель матрицы второго порядка, получающийся из исходной матрицы (43) после вычеркивания строки и столбца, на пересечении которых стоит взятый нами элемент; затем берем со знаком "минус" второй элемент первой строки, т.е.  $b_1$  и умножаем его на определитель матрицы второго порядка, получающийся после вычеркивания из исходной матрицы (43) уже второго столбца и первой строки (на их пересечении стоит элемент  $b_1$ ); берем третий элемент первой строки, т.е.  $c_1$  и умножаем его на соответствующий ему определитель второго порядка.

Описанное правило и формулу (45) называют разложением определителя третьего порядка по элементам первой строки.

Вычисляем определитель третьего порядка из примера 2.

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 70 & 13 & 75 \\ 0,30 & 0,95 & 0,25 \end{vmatrix} = 1 \cdot \begin{vmatrix} 13 & 75 \\ 0,95 & 0,25 \end{vmatrix} - 1 \cdot \begin{vmatrix} 70 & 75 \\ 0,3 & 0,25 \end{vmatrix} + 1 \cdot \begin{vmatrix} 70 & 13 \\ 0,3 & 0,95 \end{vmatrix} =$$

$$= 13 \cdot 0,25 - 0,95 \cdot 75 - 70 \cdot 0,25 + 0,3 \cdot 75 + 70 \cdot 0,95 - 0,3 \cdot 13 =$$

$$= 3,25 - 71,25 - 17,5 + 22,5 + 66,5 - 3,9 = -0,4$$

Если в определителе третьего порядка (на примере 2) первый столбец

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 70 & 13 & 75 \\ 0,30 & 0,95 & 0,25 \end{vmatrix} \quad \text{заменить столбцом свободных членов из системы линейных}$$

уравнений в примере 2, то получим новый определитель  $\Delta X$

$$\Delta X = \begin{vmatrix} 800 & 1 & 1 \\ 46400 & 13 & 75 \\ 352 & 0,95 & 0,25 \end{vmatrix}$$

Его также можно вычислить, разложив по элементам первой строки

$$\Delta X = 800 \times \begin{vmatrix} 13 & 75 \\ 0,95 & 0,25 \end{vmatrix} - 1 \times \begin{vmatrix} 46400 & 75 \\ 352 & 0,25 \end{vmatrix} + 1 \times \begin{vmatrix} 46400 & 13 \\ 352 & 0,95 \end{vmatrix} =$$

$$= 800 \times (13 \times 0,25 - 0,95 \times 75) - 46400 \times 0,25 + 352 \times 75 + 46400 \times 0,95 - 352 \times 13 = -96$$

По аналогии с определителем второго порядка, находим

$$X = \frac{\Delta X}{\Delta} = \frac{-96}{-0,4} = 240$$

Вычисляем определитель  $\Delta Y$

$$\Delta Y = \begin{vmatrix} 1 & 800 & 1 \\ 70 & 4400 & 75 \\ 0,3 & 352 & 0,25 \end{vmatrix} = -80$$

Находим величину  $Y$ .

$$Y = \frac{\Delta Y}{\Delta} = \frac{-80}{-0,4} = 200$$

Вычисляем определитель  $\Delta Z$

$$\Delta Z = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 800 \\ 70 & 13 & 46400 \\ 0,3 & 0,95 & 352 \end{vmatrix} = -144$$

В теории определителей доказывается теорема:

**Система «n» линейных уравнений имеет единственное решение тогда и только тогда, когда определитель матрицы системы отличен от нуля.**

Эта теорема позволяет любую систему из «n» линейных уравнений с «n» неизвестными проверить на наличие или отсутствие единственного решения еще до начала процедуры решения, т.е. до вычисления определителей  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ .

Если определитель матрицы равен нулю, то система уравнений либо вовсе не имеет решений (она несовместна), либо имеет бесконечное множество решений.

Для решения систем линейных уравнений на ЭВМ имеются готовые пакеты прикладных программ, использующие алгоритмы Гаусса и Крамера.

#### **4. Технологические задачи**

##### **4.1. Переработка молока**

**4.1.1.** Для нормализации молока жирностью 4% в него влили такое же количество маложирного молока жирностью 0,1%, но требуемой жирности в 3,2% не получили. Лишь после добавления сливок жирностью 20% получили требуемую жирность, а общая масса нормализованного молока оказалась 4,5 тонны. Определить количество жирного молока, маложирного молока и количество сливок, использованных для нормализации.

**4.1.2.** В баке 830кг молока жирностью 2,2%. Для нормализации молока до жирности 2,5% необходимо отобрать часть молока, разделить его на сливки жирностью 25% и обрат. Сливки вернуть в бак и перемешать. Вычислить количество нормализованного молока, если жирность обрата 0,04%. Вычислить количество обрата и сливок.

**4.1.3.** Из молочного порошка жирностью 28% готовится питьевое молоко путем разбавления его водой. Сколько кг воды надо затратить на 1 кг порошка, чтобы получить жирность питьевого молока 1,5%; 2,5%; 3,5%?

**4.1.4.** Из сгущенного молока жирностью 12% готовится обычное питьевое молоко путем разбавления сгущенного молока кипяченой водой. В каком соотношении надо смешать сгущенное молоко и воду, если питьевое молоко должно быть 1,5%; 2,5%; 3% жирности?

**4.1.5.** Цельное молоко имеет плотность  $1,032 \text{ г/см}^3$  и жирность 4,8%. Построить график изменения жирности в зависимости от изменения плотности молока, получаемого разбавлением цельного молока водой. Плотность воды  $1 \text{ г/см}^3$ .

**4.1.6.** С цельного молока 1200 л сняли некоторое количество сливок жирностью 20%, добавив вместо них воду. Объем молока при этом стал равен 1210л, а его жирность 2,5%. Определить количество сливок, снятых с молока, и количество воды, добавленной в цельное молоко, если первоначальная жирность молока была 4%.

**4.1.7.** Цельное молоко жирностью 3,7% перерабатывается в сливочное масло жирностью 82%. Сколько молока расходуется на приготовление 1кг масла, если жирность обрата и пахты равна 0,05%?

**4.1.8.** При приготовлении сухого молочного порошка влажностью 15% из натурального цельного молока с содержанием сухого веществ 12% выпаривают влагу. Определить количество молочного порошка, получаемого из одной тонны натурального молока.

**4.1.9.** Сгущенное молоко без сахара получают путем выпаривания влаги из натурального молока, снижая его влажность с 88% до 60%. Каков выход сгущенного молока из 1 т натурального молока?

**4.1.10.** За каждую тонну молока базисной жирности 3,7% фермер получает от молокозавода 3200 руб. Фермер в зимний период сдал на молокозавод 2800кг молока жирностью 4,5%, а в летний период 4100кг жирностью 3,5%. Определить денежную выручку фермера.

**2.9.1 Цель работы:** Ознакомиться с параметрами микроклимата и влиянием их на продуктивность животных. Освоить методику расчета и подбора оборудования.

**2.9.2 Задачи работы:**

1. Системы создания микроклимата.
2. Системы вентиляции и отопления.
3. Оборудование системы вентиляции и воздушного отопления.
4. Технологический расчет и выбор оборудования системы вентиляции и воздушного отопления.
5. Отчет.

**2.9.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Плакаты
2. Методические указания
3. Элементы системы вентиляции

**2.9.4 Описание (ход) работы:**

**Системы создания микроклимата**

Развитие эффективного животноводства возможно только при условии создания и поддержания нормативного микроклимата в животноводческих помещениях.

*Микроклимат (внутренний климат) помещения* - климат ограниченного пространства, включающий совокупность следующих факторов среды: температуры, влажности, подвижности (скорости движения) и охлаждающей способности воздуха, освещенности, уровня шума, количества взвешенных в воздухе пылевых частиц и микроорганизмов, газового состава воздуха.

Содержание животных в условиях, отвечающих зоогигиеническим и ветеринарно-санитарным требованиям, с учетом их биологических особенностей, в зависимости от вида, возраста, физиологического состояния и производственного назначения, так же как и полноценное нормированное кормление, является основой повышения их продуктивности, снижения заболеваемости и падежа. Отклонение параметров микроклимата в животноводческих помещениях от установленных пределов приводит к снижению удоев на 10 – 12 %, уменьшению прироста живой массы на 20 – 22 %, увеличению отхода молодняка до 15 – 19 %, снижению продуктивности птицы на 30 - 32 %, сокращению срока службы животных на 15 - 18 %, увеличению затрат кормов и труда на единицу продукции, уменьшению втрое продолжительности эксплуатации животноводческих зданий и возрастанию затрат на ремонт технологического оборудования.

Системы создания микроклимата подразделяются: по типу использования - круглогодичные, в летний период и в отопительный период; по степени воздействия на параметры микроклимата - однофакторные и многофакторные.

Широко распространенными средствами создания микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях являются различные типы отопительно-вентиляционных систем (ОВС). Классификация ОВС представлена на рис. 1.

**Системы вентиляции и воздушного отопления**

*Вентиляцией* называют совокупность мероприятий и устройств, обеспечивающих расчетный воздухообмен в помещениях жилых, общественных и производственных зданий.

Вентиляционная система - это совокупность устройств для обработки, транспортирования, подачи и удаления воздуха.

По назначению системы вентиляции подразделяют на приточные и вытяжные, обеспечивающие общеобменную или местную вентиляцию.

Системы вентиляции, подающие воздух в помещение, называют *приточными*, а удаляющие загрязненный воздух из помещения - *вытяжными*.

Вентиляцию называют *общеобменной*, если вентилируется все помещение или его рабочая зона. *Местная* вентиляция обеспечивает удаление воздуха непосредственно от оборудования - источника вредных выделений - или подачу воздуха в какую-либо определенную часть помещения.

По способу побуждения движения воздуха различают системы с *естественной* и *принудительной вентиляцией*. В первом случае воздух поступает в помещение и удаляется из него вследствие разности плотности воздуха внутри помещения и снаружи, а также под влиянием ветра. Естественную вентиляцию делят на бесканальную и канальную.



Рис. 1 Классификация отопительно-вентиляционных систем

Бесканальная вентиляция осуществляется через окна, фрамуги, форточки и стеновые проемы. Она наиболее проста, но мало регулируема. Более совершенна *канальная вентиляция*, при которой приток свежего и отвод загрязненного воздуха осуществляют через каналы, снабженные регулируемыми заслонками.

Наиболее эффективна принудительная вентиляция (с механическим побуждением), в которой воздух приводится в движение при помощи вентиляторов, работающих в режиме нагнетания (приточные системы) или разрежения (вытяжные системы).

По характеру распределения приточного воздуха различают механические системы вентиляции с *рассредоточенной* и *сосредоточенной* подачей. В первом случае воздух подают в помещение с помощью воздухопроводов, равномерно размещенных внутри помещения и снабженных отверстиями; во втором - воздух нагнетают в помещение в виде струй.

### Вентиляция животноводческих и птицеводческих помещений

Простейшей системой естественной вентиляции в животноводческом помещении является шахтная вентиляция (рис. 2). Такая система вентиляции может обеспечить

гигиеничное состояние воздуха в помещении в зимнее время при температуре наружного воздуха до  $-10^{\circ}\text{C}$ .

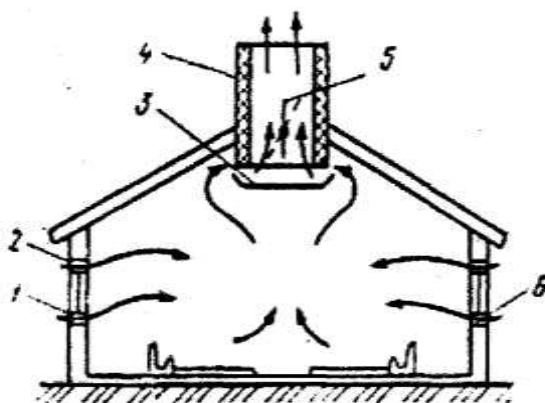


Рис. 2. Схема шахтной вентиляции помещения:

1 и 2 - подоконный и надоконный приточные проемы; 3 - поддон; 4 - утепленная шахта; 5 - дроссель-клапан; 6 - регулировочный направляющий клапан

В случае использования механических систем возможна как приточная, так и вытяжная вентиляция. При этом стремятся, чтобы воздух поступал равномерно в зону размещения животных. Наибольший интерес представляют системы, работающие круглый год или в теплый период.

На рисунке 3 приведены схемы летней вентиляции животноводческих помещений. В схемах, показанных на рисунках 3 а, г, использована вытяжная система, в схемах на рисунках 3 б, в - приточные системы. Расположение вентиляторов возможно как на крыше (рис. 3 в, г), так и в стенах (рис. 3 а, б).

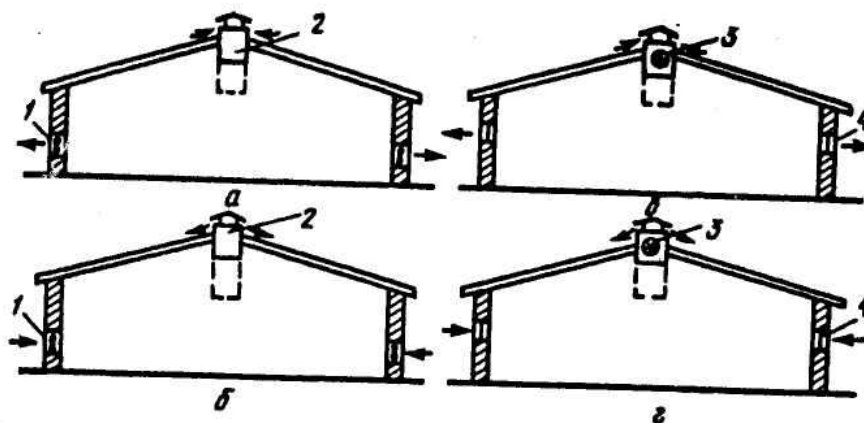


Рис. 3. Основные типы летней вентиляции животноводческих помещений: а - вытяжная с настенными вентиляторами; б - приточная с настенными вентиляторами; в - приточная с крышными вентиляторами; г - вытяжная с крышными вентиляторами;

1 - настенный вентилятор; 2 - шахта; 3 - крышный вентилятор; 4 - оконный проем

Схема приточной вентиляции с избыточным давлением и расположением вентиляторов на крыше показана на рисунке 4 для теплого (4 а) и холодного (4 б) периодов года. Из приведенных рисунков видно, что движение воздуха не охватывает все помещение. При этом возникают вихревые зоны.

В холодный период предусматривают включение отопительно-вентиляционных агрегатов, подачу теплого воздуха через приточные воздуховоды и вытяжку через шахты.

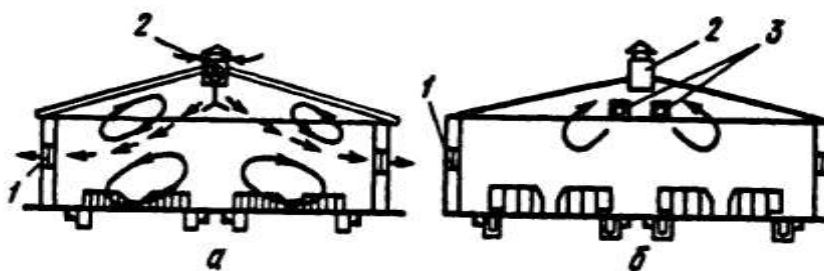


Рис. 4. Вентиляция животноводческих помещений по схеме с избыточным давлением и вентиляторами, расположенными на крыше: а - теплый период года; б - холодный период; 1 - оконные проемы; 2 - вытяжные шахты; 3 - приточный воздуховод

Картина течения воздушных потоков при вытяжной вентиляции с настенными вентиляторами приведена на рисунке 5.

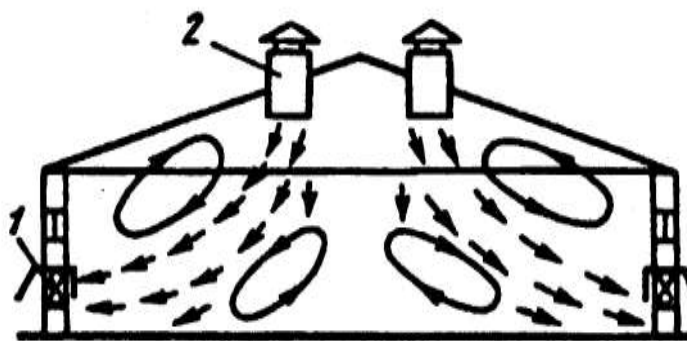


Рис. 5. Вытяжная вентиляция с настенными вентиляторами: 1 - настенные вентиляторы; 2 - приточные шахты.

СНиП 2.10-03 - 84 «Животноводческие, птицеводческие, звероводческие здания и помещения» предусматривает механическое удаление воздуха из подпольных навозосборников (не менее 30-50 % воздухообмена). Устройство этих систем вентиляции требует больших капитальных вложений и немалых трудозатрат при их эксплуатации (вытяжные устройства навозных каналов быстро загрязняются и выходят из строя). Эффективность этого способа вентиляции невысока.

Примером приточно-вытяжной системы отопления и вентиляции коровника при двухрядном стойловом содержании животных является схема, приведенная на рисунке 6. В помещение воздух подает отопительно-вентиляционный агрегат, состоящий из центробежного вентилятора и калорифера. Загрязненный воздух вытягивается через шахты, расположенные в шахматном порядке над стойлами животных. Приточный воздуховод располагают либо по оси здания под потолком (рис. 6 а), либо в виде двух параллельных воздуховодов равномерной подачи воздуха (рис. 6 б), расположенных под потолком или в опорных конструкциях перекрытия.



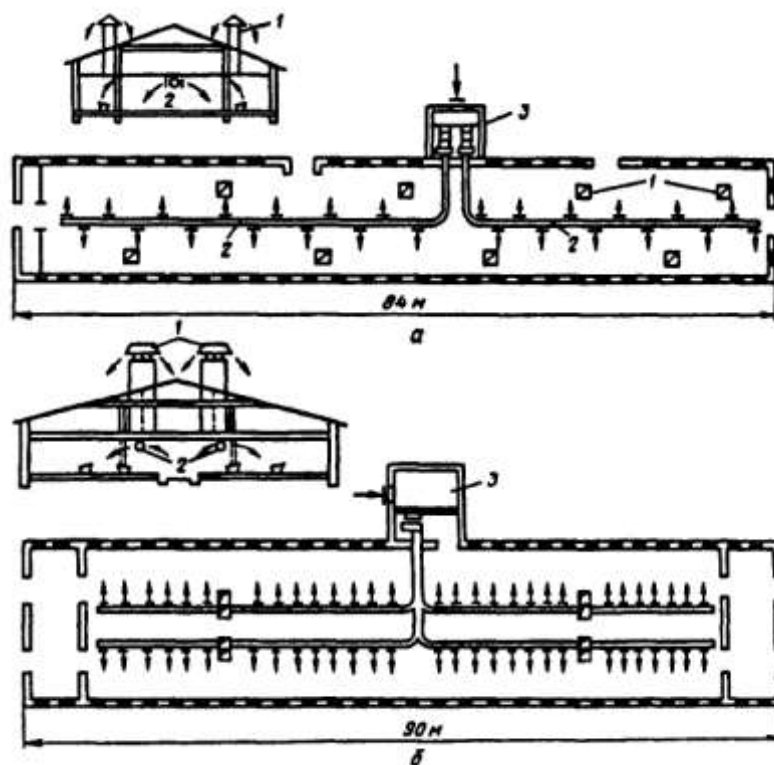


Рис. 6. Схема вентиляции коровника при ширине помещения: а - 12 м; б - 18 м; 1 - вытяжные шахты; 2 - приточные воздуховоды; 3 - вентиляционная камера

#### Комплекты оборудования «Климат-2», «Климат-3»

Комплекты «Климат-2», «Климат-3» предназначены для создания необходимых температурно-влажностных условий в животноводческих и птицеводческих помещениях с системами воздушного обогрева при помощи отопительно-вентиляционных агрегатов с водяными (паровыми) калориферами.

Комплекты оборудования «Климат-2», «Климат-3» могут иметь вентиляторы различных номеров. Принципиальная схема размещения оборудования, входящего в комплект «Климат-3», приведена на рисунке 7.

Электрокалориферная установка типа СФОЦ (рис. 8) состоит из установленных на общей раме (калорифера) радиального вентилятора 5 с электродвигателем 6 и патрубка 3 с мягкой вставкой 4. Калорифер представляет собой каркас с прямоугольной площадью сечения, внутри которого в три ряда расположены оребренные трубчатые нагреватели. Каждый ряд составляет электрическую секцию, в которой нагреватели соединены в звезду. Радиальный вентилятор соединяется с калорифером через патрубок и мягкую вставку. Патрубок выполнен в виде сварной металлической конструкции, выполняющей роль переходника с прямоугольной площади сечения на круглую. Мягкая вставка предотвращает калорифер от вибрации, возникающей при работе вентилятора. Вентилятор с электродвигателем устанавливают на виброизолирующих основаниях.

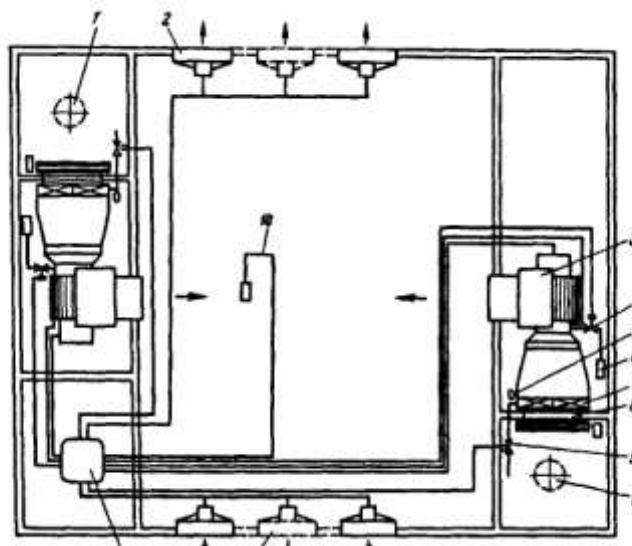


Рис. 7. Принципиальная схема размещения оборудования «Климат-3»: 1 - заборная шахта; 2 - вытяжной вентилятор типа ВО (осевой); 3 - приточная отопительно-вентиляционная и увлажнительная установка; 4 - клапан подачи воды; 5 - датчик защиты калориферов от размораживания; 6 - напорный бак; 7 - калорифер; 8 - воздушная заслонка; 9 - регулирующий клапан; 10 - панель датчиков; 11 - станция управления

При первоначальном включении электрокалорифера в сеть включается 100% мощности.

Установки типа СФОЦ подсоединяют к трехфазному линейному напряжению 380 В. Основные технические характеристики электрокалориферных установок типа СФОЦ даны в таблице 1

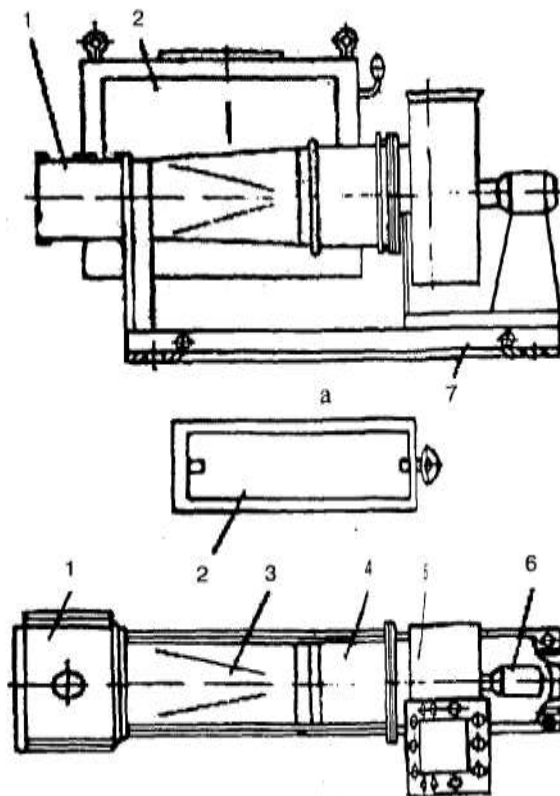


Рис. 8. Электрокалориферная установка типа СФОЦ:

а - вид сбоку; б - вид сверху; 1 - калорифер; 2 – шкаф управления; 3 - патрубков; 4 - мягкая вставка; 5 - вентилятор радиальный; б - двигатель; 7 – рама

Таблица 1. Характеристики электрокалориферных установок

Параметр	СФОЦ-25	СФОЦ-40	СФОЦ-60	СФОЦ-100
1	2	3	4	5
Установленная мощность, кВт	23,6	47,2	69,7	97,5
Подача воздуха, тыс. м <sup>3</sup> /ч, не менее	2,5	3,5	4,0	6,0
Перепад температур выходящего и входящего воздуха, °С	35	50	65	70
Температура входящего воздуха °С, не более	50	50	50	50
Аэродинамическое сопротивление по воздуху, Па, не более	150	200	250	
Мощность секции, кВт	7,5	15	22,5	30
1	2	3	4	5
Габаритные размеры, мм: ширина длина высота	600 1350 930	900 1450 1120	900 1450 1160	1150 1605 1420

### Технологический расчет и выбор оборудования системы вентиляции и воздушного отопления

Таблица 2. Исходные данные

Вариант	1	2	3	4
Вид животных	Сухостойные коровы	Коровы с уровнем лактации 30 л.	Свиньи на откорме	Свиноматки
Количество животных	400	200	2000	300
Живая масса животных, кг	400	600	100	150
Габариты помещения, м				
Ширина	21	18	21	12
Длина	96	72	90	72
Высота				
по карнизу	3,6	4,7	3,3	3,0
по коньку	8,1	8,4	4,1	3,7

Определяем воздухообмен по углекислоте в холодный период года в м<sup>3</sup>/ч

$$L_{CO_2} = \frac{C \cdot m}{C_1 - C_2}$$

где  $C$  - количество углекислого газа, выделяемое одним животным, л/ч;

$m$  - количество животных в помещении, гол.;

$C_1$  - допустимое количество углекислого газа в воздухе помещения, л/м<sup>3</sup>; ( $C_1 = 2,5$  л/м<sup>3</sup>);

$C_2$  - содержание углекислого газа в приточном свежем воздухе, л/м<sup>3</sup>; ( $C_2 = 0,3...0,4$  л/м<sup>3</sup>);

$$L_{H_2O} = \frac{W \cdot m \cdot \beta}{W_1 - W_2}$$

$W$  - количество водяного пара, выделяемого одним животным в течение часа, г/ч; (табл. 3);

$\beta$  - коэффициент, учитывающий испарение влаги с пола, кормушек, автопоилок и т.д. (1,10...1,25);

$W_1$  - допустимое количество водяного пара в воздухе помещения, г/м<sup>3</sup> (абсолютная влажность)

Таблица 3. Количество тепла, углекислоты и водяных паров

Вид животных	Живая масса, кг	Количество тепла, кДж/ч	Количество углекислоты, л/ч	Выделение паров воды, г/ч
Стельные сухостойные коровы и нетели за 2 месяца до отела	300	2,3	90	232
	400	2,82	110	284
	600	3,46	138	329
Лактирующие коровы с уровнем лактации 30 л	300	3,85	143	401
	400	4,21	165	424
	600	4,83	189	487
Свиньи на откорме	200	1,42	57	145
Свиноматки с приплодом	150	1,95	78	198

$$W_1 = \frac{\omega \cdot W_{\max}}{100}$$

где  $\omega$  - нормативная относительная влажность воздуха в животноводческих помещениях, % (для условий Оренбургской области относительная влажность составляет 84%);

$W_{\max}$  - максимальная влажность воздуха при заданной температуре, г/м<sup>3</sup> (см. таблицу 4)

$W_2$  - средняя абсолютная влажность приточного воздуха, г/м<sup>3</sup>, ( $W_2=3,2...3,3$  г/м<sup>3</sup>).

Таблица 4. Физические свойства влажного воздуха

Температура t, °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	$W_{\max}$ , г/м <sup>3</sup>	Температура t, °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	$W_{\max}$ , г/м <sup>3</sup>
-20	1,396	1,1	6	1,265	7,2
-18	1,385	1,3	8	1,256	8,3
-16	1,374	1,5	10	1,248	9,4

-14	1,363	1,7	12	1,239	10,6
-12	1,353	2,0	14	1,230	12,0
-10	1,342	2,3	16	1,222	13,6
-8	1,332	2,7	18	1,213	15,3
-6	1,322	3,1	20	1,205	17,2
-4	1,312	3,6	22	1,201	19,3
-2	1,308	4,2	24	1,197	21,6
0	1,293	4,9	26	1,189	24,2
2	1,284	5,6	28	1,173	27,0
4	1,275	6,4	30	1,165	30,1

Из полученных по формулам результатов для дальнейших расчетов выбирают максимальную величину воздухообмен ( $L_{max}$ ).

Далее определяем кратность часового воздухообмена, который показывает, сколько раз в течение часа меняется воздух в помещении

$$K = \frac{L_{max}}{V}$$

где  $V$  – полезный объем помещения,  $m^3$ .

$$V = b \cdot l \cdot h$$

Кратность часового воздухообмена для молодняка раннего возраста и маточного поголовья допускается не больше 3 раз в час, для остальных животных - не более 5.

При кратности воздухообмена  $K < 3$  выбирают естественную вентиляцию, при  $K = 3 \dots 5$  - принудительную вентиляцию без подогрева подаваемого воздуха и при  $K > 5$  - принудительную вентиляцию с подогревом подаваемого воздуха.

При естественной вентиляции воздухообмен происходит вследствие разности температур внутри и снаружи помещения. Воздух в помещении перемещается по каналу снизу вверх.

Сечение вытяжных приточных каналов в  $m^2$  определяют по формуле

$$F_1 = \frac{L_{max}}{3600 \cdot g}$$

$v$  - скорость воздушного потока в канале, м/с.

$$g = \sqrt{\frac{h \cdot (t_1 - t_2)}{273}}$$

где  $h$  - высота вытяжных шахт, принимается равной на 0,6...0,7 выше конька здания;

$t_1 - t_2$  - разность температур внутреннего и наружного воздуха, град.

При скорости воздушного потока менее 0,2 м/с увеличивают высоту вытяжных шахт, более 1,2 м/с проводят утепление здания для снижения разности температур наружного и внутреннего воздуха.

Количество вытяжных каналов определяют из выражения

$$m_{ек} = \frac{F_1}{f_1}$$

где  $f_1$  - площадь поперечного сечения одного канала,  $m^2$

Площадь сечения вытяжных каналов  $f_1$  принимается 0,25; 0,36; 0,5; 1  $m^2$  и более, приточных  $f_2$  0,04 и 0,06  $m^2$ .

Общую площадь приточных каналов  $F_2$  принимают равной  $(0.5...0.7)F_1$ , а количество приточных каналов соответственно

$$m_{пк} = \frac{F_1}{f_1}$$

Для удовлетворительной работы важное значение имеет гидро и теплоизоляция вытяжных каналов. Чтобы избежать задувания вытягиваемого воздуха ветром, вытяжные каналы устанавливают вертикально над крышей и снабжают дефлектором.

Достоинством системы вентиляции с естественным побудителем является простота, дешевизна устройства и эксплуатации. Недостатком – зависимость от температурных условий. При равенстве температуры воздуха внутри и снаружи помещения воздухообмен совершенно прекращается.

#### **Расчет вентиляционной системы с механическим побудителем.**

Вентиляционные системы разрабатываются для конкретного здания в соответствии со следующими требованиями:

1. Воздуховоды должны быть по возможности короче, иметь минимальное количество мест, вызывающих местные сопротивления и располагаться так, чтобы не мешать нормальному течению производственных процессов.
2. Вытяжные каналы должны устанавливаться в местах, где выделяются или скапливаются вредные примеси.
3. Отверстия для выброса воздуха должны быть расположены как правило выше воздухоприемника.
4. Вентиляционная система должна быть устроена так, чтобы движение воздуха в помещении было ламинарным, при этом свежий воздух постоянно вытесняет загрязненный.

При принудительной вентиляционной системе поступление свежего воздуха обеспечивается приточными вентиляционными установками. Применяют вентиляторы низкого давления (до 980 Па) и среднего (2940 Па).

Расчет принудительной вентиляционной системы ведется из тех условий, что она должна работать периодически, поэтому подача системы должна быть в 2-3 раза больше расчетной величины воздухообмена, т.е.

$$L_{в.с.} = (2...3) L_{max},$$

Требуемый вентилятор подбирают по величине воздухообмена  $L_{в.с.}$  и требуемому напору, необходимому для преодоления сопротивления движению воздуха в канале вентиляционной системы.

Объемную подачу вентилятора в  $м^3/ч$  определяют по формуле

$$Q_B = \frac{L_{в.с.}}{m_{вк}}$$

где  $m_{вк}$  — число вытяжных каналов.

При подаче  $Q_B < 8000 м^3/ч$  выбирают схему с одним вентилятором, при  $Q_B > 8000 м^3/ч$  — с несколькими, при этом объемная подача одного вентилятора не должна быть более  $8000 м^3/ч$ .

Диаметр воздухообмена в м определяется по формуле

где  $Q_B$  — подача вентилятора,  $м^3/ч$ ;

$$d = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{Q_B}{\pi \cdot v}},$$

$v$  — скорость воздуха в воздуховоде, которая принимается равной 12... 15 м/с.

Необходимый напор вентилятора в Па определяют как сумму потерь давления от трения воздуха о воздуховод на прямолинейных участках ( $H_{тр}$ ) и местах сопротивлений ( $h_M$ ).

$$H = H_{np} + h_m = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \left( \lambda \frac{L}{2d} + \sum \xi \right)$$

где  $H$  - полный напор вентилятора, Па;

$\rho$  - плотность воздуха, ( $\rho=1,2...1,3$  кг/м<sup>3</sup>);

$v$  - скорость воздуха в воздуховоде, ( $v = 10...15$  м/с);

$d$  - диаметр воздуховода, ( $d = 0,3...0,4$ м);

$\lambda$ - коэффициент сопротивления движению воздуха в трубе, ( $X = 0,02...0,03$ );

$L$  - длина трубопровода на прямолинейном участке, м;

$\xi$ ; - сумма коэффициентов местных сопротивлений ( $\xi = 1,1 ... 8,0$ ).

По полученным величинам  $Q_B$ ,  $H$  и скорости воздуха по номограмме (приложение 1) определяют номер вентилятора (№), а затем на пересечении с  $H$  находят коэффициент полезного действия вентилятора  $h$  и безразмерный параметр  $A$ . После чего находят частоту вращения вентилятора

$$n = \frac{A}{N}$$

Расчетная мощность электродвигателя в Вт для привода вентилятора определяют по формуле

$$N_{\text{дв}} = \frac{9,81 \cdot Q_B \cdot H}{3600 \cdot \eta_B \eta_{\text{пер}}}$$

где  $Q_B$  - одача выбранного вентилятора, м<sup>3</sup>/ч;

$H$  - полный напор выбранного, Па;

$\eta_B$  - КПД вентилятора (для центробежных вентиляторов  $\eta_B = 0,4...0,6$ , для осевых  $\eta_B = 0,2...0,3$ );

$\eta_{\text{пер}}$  - КПД передачи, (для ременных передач  $\eta_{\text{пер}} = 0.95$ ).

Полученную расчетную мощность двигателя увеличивают при  $N < 1,5$  на 50%, при  $N = 2$  кВт на 25%, при  $N = 4...7$  кВт на 20% и при  $N > 7,5$  кВт на 10%.

### Расчет отопительной системы помещения

При кратности воздухообмена  $K > 5$  приточный воздух подогревают.

Определяют дефицит теплового потока в Дж/ч (ккал/ч) для определения животноводческого помещения

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_{\text{ж}},$$

где  $Q_1$  - поток теплоты, теряемый наружу сквозь ограждающие строительные конструкции, Дж/ч (ккал/ч);

$Q_2$  - поток теплоты, теряемый с удаляемым воздухом при вентиляции, Дж/ч (ккал/ч);

$Q_3$  - случайные потери потока тепла, Дж/ч (ккал/ч);

$Q_{\text{ж}}$  - поток теплоты, выделяемый животными или птицей, Дж/ч (ккал/ч).

$$Q_1 = \sum k \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$$

где  $k$  - суммарный коэффициент теплопередачи ограждающих строительных конструкций, Дж/м<sup>2</sup> \* ч \* °С (ккал/м<sup>2</sup> \* ч \* °С) (табл. 5);

$F$  - площадь поверхностей, теряющих поток теплоты (потолок и стены), м<sup>2</sup>;

$t_в$  и  $t_n$  - температура воздуха соответственно в помещении и снаружи, °C.

Таблица 5. Коэффициент теплоотдачи для стен и потолка

ВИДЫ СТЕН	Толщина стен, см	
	30	60
	к, кДж/м <sup>2</sup> ·ч <sup>0</sup> С	
Уплотненный неоштукатуренный бетон	9,2	5,9
Уплотненный оштукатуренный бетон	8,4	4,6
Неоштукатуренный железобетон	10,1	5,9
Кирпич, оштукатуренный с одной стороны	6,7	4,1
Кирпич, оштукатуренный с двух сторон	6,7	4,0
Оштукатуренный камень	9,7	6,7

$$Q_2 = c \cdot L_{max} \cdot (t_в - t_n)$$

где  $c$  - удельная теплоемкость воздуха, Дж/м<sup>3</sup>;

$L_{max}$  - значение воздухообмена, м<sup>3</sup>/ч;

Поток теплоты в Дж/ч (ккал/ч), выделяемый животными или птицей

$$Q_{жс} = \sum q \cdot m$$

где  $q$  - поток теплоты, выделяемый одним животным данного вида, Дж/ч (таблица 3)

$m$  - количество животных данного вида в помещении.

Случайные потери потока тепла в Дж/ч, принимаются в количестве 10...15% от

$Q_{жс}$ , т. е.

$$Q_3 = (0,10...0,15) \cdot Q_{жс}$$

После этого подбирают нагревательные установки по площади поверхности нагрева (электрокалориферы или теплокалориферы) и приводят их техническую характеристику.

Площадь поверхностей нагревательных установок

$$F = \frac{Q}{q_1}$$

где  $q_1$  - съем теплового потока с единицы поверхности нагревательного устройства, Вт/м<sup>2</sup>

$$q_1 = k' \cdot \left( \frac{t_1 - t_2}{2} - t_в \right)$$

где  $k' = 46,2...113,4$  кДж/м<sup>2</sup> \* ч \* °C - коэффициент теплоотдачи от калорифера к воздуху;

$t_1$  - температура теплоносителя при входе в теплокалорифер,

( $t_1 = 90^\circ\text{C}$ );

$t_2$  - температура теплоносителя на выходе из теплокалорифера

( $t_2 = 70^\circ\text{C}$ );

$t_в$  - температура воздуха в помещении, °C.

#### Содержание отчета

1. Начертить и описать одну из существующих схем вентиляции животноводческих помещений.

2. Начертить и описать одну схему центрального или местного воздушного отопления.



3. Выполнить расчет вентиляции и отопления животноводческого помещения по заданному варианту.

**Контрольные вопросы**

1. Дайте определение микроклимата и его основных параметров.
  2. Перечислите схемы вентиляции для различных животноводческих помещений.
  3. Перечислите схемы центрального и местного отопления. В чем их преимущества и недостатки?
  4. Какими техническими средствами осуществляется вентиляция и воздушное отопление?
  5. Что такое воздухообмен в животноводческом помещении и как он рассчитывается?
- Что такое тепловой баланс животноводческого помещения и как он рассчитывается?

## 2.10 Лабораторная работа 10 (ЛР-10). (2 часа).

**Тема:** Математическое моделирование процессов в животноводстве. Сервис и техническое обслуживание оборудования животноводства

**2.10.1 Цель работы:** Математически рассчитать процессы в животноводстве.

**2.10.2 Задачи работы:**

1. Изучить основные процессы в животноводстве
2. Научиться пользоваться теоремами Гаусса, Крамера при решении задач

**2.10.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Калькулятор
2. Линейка

**2.10.4 Описание (ход) работы:**

Траектория движения точки на режущем зубе винтового и шнекофрезерного питателей (рис. 1, а, 33, а), описывается следующей системой параметрических уравнений:

$$\begin{aligned}x &= R \cos(\omega t) + v_{\pi} t, \\ y &= R \sin(\omega t),\end{aligned}\tag{1}$$

где  $x$  и  $y$  – координаты точки рабочего органа в плоско вертикальной системе координат;

$R$  – радиус вращения некоторой точки А рабочего органа, м;

$\omega$  – угловая скорость вращения точки рабочего органа, рад/с;

$v_{\pi}$  – поступательная скорость движения рабочего органа, м/с;

$t$  – время с момента начала движения, с.

Каждая точка на режущей кромке лопасти ротора лопастного питателя движется в пространственной системе координат (рис. 32, б) и поэтому система включает в себя три параметрических уравнения:

$$\left. \begin{aligned}x &= x_0 + v_{\pi} t + \cos \alpha R \cos(\varphi_0 + \omega t), \\ y &= y_0 + R \sin(\varphi_0 + \omega t), \\ z &= z_0 + \sin \alpha R \cos(\varphi_0 + \omega t),\end{aligned} \right\}\tag{2}$$

где  $x_0, y_0, z_0$  – начальные координаты точки;

$\alpha$  – угол наклона траектории движения к горизонтальной плоскости;

$\varphi_0$  – начальный угол положения лопасти.

Особенность движения точки фрезерного барабана фрезерношнекового питателя (рис. 32, в) заключается в том, что относительное и переносное движения являются вращательными. Система параметрических уравнений, описывающих данное движение, имеет такой вид:

$$\left. \begin{aligned}x &= l_p \cos \theta + r_{fp} \cos \varphi, \\ y &= l_p \sin \theta + r_{fp} \sin \varphi,\end{aligned} \right\}\tag{3}$$

где  $l_p$  – длина рычага, м;

$\theta = \theta_0 + \omega_p t$  – угол поворота рычага;

$\omega_p$  – угловая скорость рычага, рад/с;

$\varphi = \varphi_0 + \omega_{fp} t$  – угол поворота фрезы;

$r_{fp}$  – радиус фрезерного барабана, м;

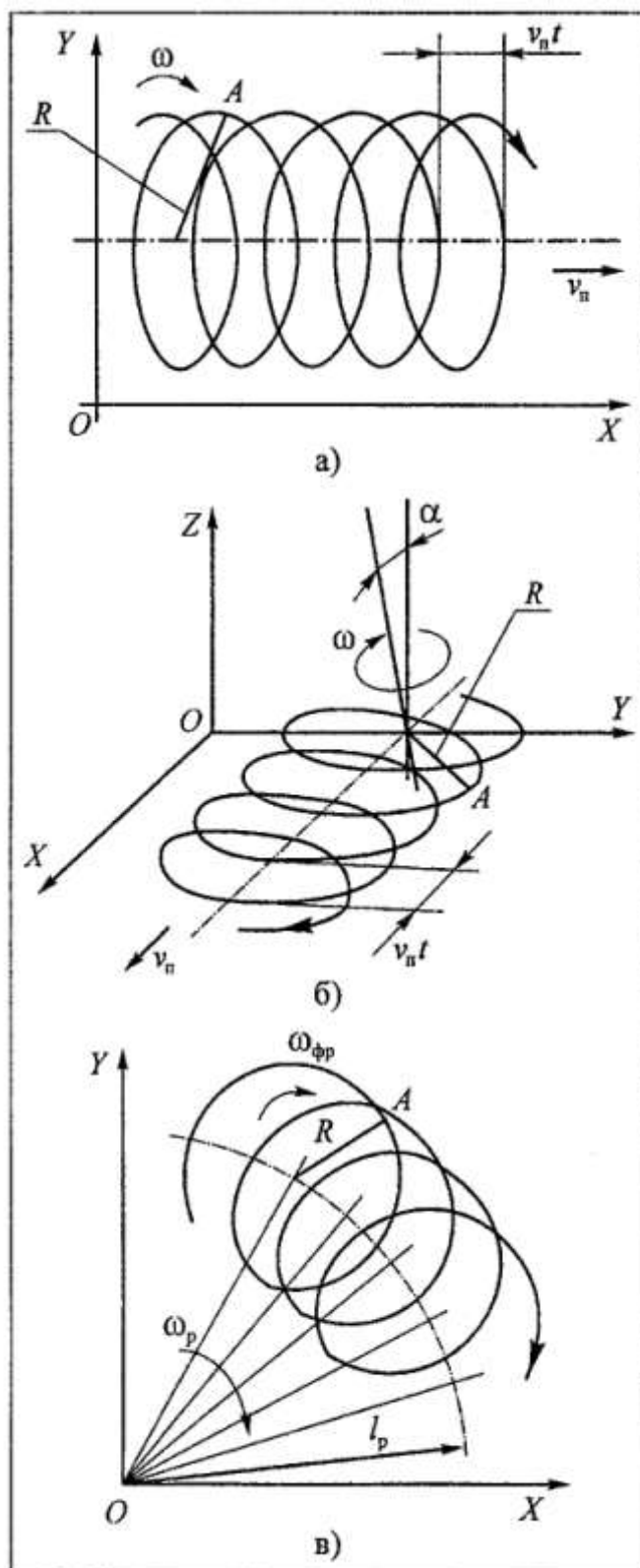
$\omega_{fp}$  – угловая скорость фрезерного барабана, рад/с.

Площадь боковой проекции стружки, отделяемой каждым из рабочих элементов (зубом, лопастью), – это площадь, заключенная между двумя соседними витками траектории движения (рис. 33):

$$A = \pm \int_0^T y(t) \dot{x}(t) dt \quad (4)$$

при условии

$$x = x(t), \quad y = y(t), 0 \leq t \leq T$$





Знак «плюс» в (4) выбирают в том случае, если кривая положительно ориентирована, т.е. при обходе кривой область остается слева, знак «минус» в другом случае.

Для винтового и шнекофрезерного питателя площадь боковой проекции стружки (рис. 33, а) с учетом (1) и (4)

$$A_1 = - \int_0^T (-R\omega \sin(\omega t) + v_{\Pi}) R \sin(\omega t) dt = \int_0^T (-R^2 \omega \sin^2(\omega t) + v_{\Pi} R \sin(\omega t)) dt,$$

где  $x'(t) = (-R\omega \sin(\omega t) + v_n)$  – первая производная от координаты  $x$  по времени.

После решения этого интеграла получим:

$$A_1 = R^2 \frac{\omega t}{2} - \frac{R^2}{4} \sin(2\omega t) + \frac{v_{\Pi} R}{\omega} \cos(\omega t),$$

при этом  $0 < t < 1/(2n)$ , где  $n$  – частота вращения рабочего органа,  $c^{-1}$ .

Для лопастного питателя площадь боковой проекции стружки заштрихована на рис. 33, б. С учетом системы (2)

$$A_2 = \pm \int_{t_1}^{t_2} y(t) x'(t) dt = \pm \int_{t_1}^{t_2} R \sin(\varphi_0 + \omega t) [v_{\Pi} - \cos \alpha R \omega \sin(\varphi_0 + \omega t)] dt,$$

где  $x'(t) = v_{\Pi} - \cos \alpha R \omega \sin(\varphi_0 + \omega t)$ ;

$t_1, t_2$  – время начала движения и его окончания.

Решив это уравнение, получим выражение для определения площади:

$$A_2 = \frac{v_{\Pi} R}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{R^2 \omega \cos \alpha}{2} t - \frac{R^2 \cos \alpha}{4} \sin(2\omega t).$$

Для фрезерношнекового питателя с учетом системы (3) первая производная от координаты  $x$  по времени будет иметь такой вид:

$$x'(t) = -l_p \omega_p \sin \theta - r_{\phi p} \omega_{\phi p} \sin \varphi.$$

Тогда

$$\begin{aligned} y(t) x'(t) &= -(l_p \omega_p \sin \theta + r_{\phi p} \omega_{\phi p} \sin \varphi) \times \\ &\times (l_p \sin \theta + r_{\phi p} \sin \varphi) = -[l_p^2 \omega_p \sin^2 \theta + r_{\phi p}^2 \omega_{\phi p} \sin^2 \varphi + \\ &+ l_p r_{\phi p} (\omega_p + \omega_{\phi p}) \sin \theta \sin \varphi]. \end{aligned}$$

Преобразовав последнее выражение и подставив его под знак интеграла (4) и решив данный интеграл, найдем площадь боковой проекции стружки, отделяемой ножом фрезерного барабана (рис. 33,в):

$$\begin{aligned} A_3 &= [(l_p^2 \omega_p + r_{\phi p}^2 \omega_{\phi p}) / 2] t - (l_p^2 \sin(2\theta)) / 4 - \\ &- (r_{\phi p}^2 \sin(2\varphi)) / 4 + [l_p r_{\phi p} (\omega_p + \omega_{\phi p}) \sin(\theta - \\ &- \varphi)] / [2(\omega_p - \omega_{\phi p})] - l_p r_{\phi p} \sin(\theta + \varphi) / 2. \end{aligned}$$

Полученные выражения для площади боковой проекции стружки позволяют определить объем навоза, отделяемый от бурта рабочими органами погрузчиков.

Для винтового и шнекофрезерного питателей объем стружки, отделяемый от бурта одним зубом:

$$V_1 = \left[ R^2 \frac{\omega t}{2} - \frac{R^2}{4} \sin(2\omega t) + \frac{v_{\Pi} R}{\omega} \cos(\omega t) \right] k_o b,$$

где  $k_o$  – коэффициент заполнения объема;

$b$  – ширина зуба, м.

Объём навоза, отделяемый одной лопастью лопастного питателя,

$$V_2 = \left[ \frac{v_{\Pi} R}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{R^2 \omega \cos \alpha}{2} - \frac{R^2 \cos \alpha}{4} \sin(2\omega t) \right] k_o H,$$

где  $H$  – высота бурта, захватываемого лопастью.

Для фрезерношнекового питателя объём, отделяемый одним ножом,

$$V_3 = A_3 b_3 = b_3 [(l_p^2 \omega_p + r_{\phi p}^2 \omega_{\phi p}) / 2] t - (l_p^2 \sin(2\theta)) / 4 - (r_{\phi p}^2 \sin(2\varphi)) / 4 + \\ + [l_p r_{\phi p} (\omega_p + \omega_{\phi p}) \sin(\theta - \varphi)] / [2(\omega_p - \omega_{\phi p})] - l_p r_{\phi p} \sin(\theta + \varphi) / 2] k_o,$$

где  $b_3$  – ширина ножа фрезерного барабана;

$t$  – время движения ножа в бурте навоза.

Производительность, т.е. количество навоза, отделяемого и захватываемого питателем в единицу времени,

$$Q = \frac{m}{t} = \frac{\rho V}{t},$$

где  $m$  – масса отделяемого и захватываемого навоза, кг;

$t$  – время захвата массы  $m$  навоза, с;

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

$V$  – объём стружки, м<sup>3</sup>.

Производительность винтового и шнекофрезерного питателей с учетом числа зубьев  $z_3$ , одновременно участвующих в отделении навоза от бурта,

$$Q = \left( R_p^2 \frac{\omega t}{2} - \frac{R_p^2}{4} \sin(2\omega t) + \frac{v_{\Pi} R_p}{\omega} \cos(\omega t) \right) \times \frac{k_o b \rho z_3 \omega}{2\pi},$$

где  $t = 2\pi/\omega$  – время отделения и захвата груза одним зубом;

$R_p$  – радиус, по которому установлены режущие зубья.

Производительность лопастного питателя

$$Q_{\lambda} = \frac{\rho z_{\lambda} \omega k_o H}{2\pi} \left[ \frac{v_{\Pi} R_p}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{R_p^2 \omega \cos \alpha}{2} t - \frac{R_p^2 \cos \alpha}{4} \sin(2\omega t) \right],$$

где  $z_{\lambda}$  – число лопастей ротора лопастного питателя в массиве груза в момент времени  $t$ ;

$R_p$  – радиус ротора;

$\omega$  – угловая скорость вращения лопастей.

С учетом числа  $z_n$  ножей в массиве груза производительность фрезерношнекового питателя,

$$Q_{\phi p} = \frac{\rho b_3 z_n \omega_{\phi p} k_o}{2} [(l_p^2 \omega_p + R_{\phi p}^2 \omega_{\phi p} / 2] t - l_p^2 \sin(2\theta) / 4 - (R_{\phi p}^2 \sin(2\varphi)) / 4 + \\ + [l_p R_{\phi p} (\omega_p + \omega_{\phi p}) \sin(\theta - \varphi)] / [2(\omega_p - \omega_{\phi p})] - l_p R_{\phi p} \sin(\theta - \varphi) / 2].$$

Полученные математические выражения для определения производительности фрезерующих рабочих органов погрузчиков непрерывного действия. Выражения учитывают характер движения рабочих органов, кинематические и конструктивные параметры, а также физико-механические свойства навоза.

#### Контрольные вопросы.

1. Кинематика движения рабочих органов погрузчиков навоза.
2. Траектория движения точки рабочих органов питателей.
3. Расчет производительности фрезерующих рабочих органов погрузчика навоза.

4. Особенности определения уровня механизации технологических процессов животноводства.

По каким параметрам рассчитывают пневматический транспортер кормов?