

**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 Технический сервис в АПК

Форма обучения заочная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций.....	3
1.1. Лекция 1 Теоретические основы процесса приготовления кормов.....	3
1.2. Лекция 2 Основы проектирования режущих аппаратов кормоприготовительных машин.....	12
1.3. Лекция 3 Общее устройство и определение энергетических показателей доильного оборудования.....	20
2. Методические указания по выполнению практических занятий.....	26
2.1 Практическое занятие № ПЗ-1 Экспериментально-теоретическое определение модуля помола.....	26
2.2 Практическое занятие № ПЗ-2 Экспериментально-теоретическое исследование процесса гранулирования и брикетирования кормов.....	31
2.3 Практическое занятие № ПЗ-3 Экспериментально-теоретическое определение коэффициента теплопередачи. Экспериментально-теоретические исследования и расчет пастеризаторов.....	37
2.4 Практическое занятие № ПЗ-4 Определение производительности фрезерующих рабочих органов погрузчика навоза.....	42

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция №1(2 часа).

Тема: «Теоретические основы процесса приготовления 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, на 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 $M_{\text{кормосмеси}}$ 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).

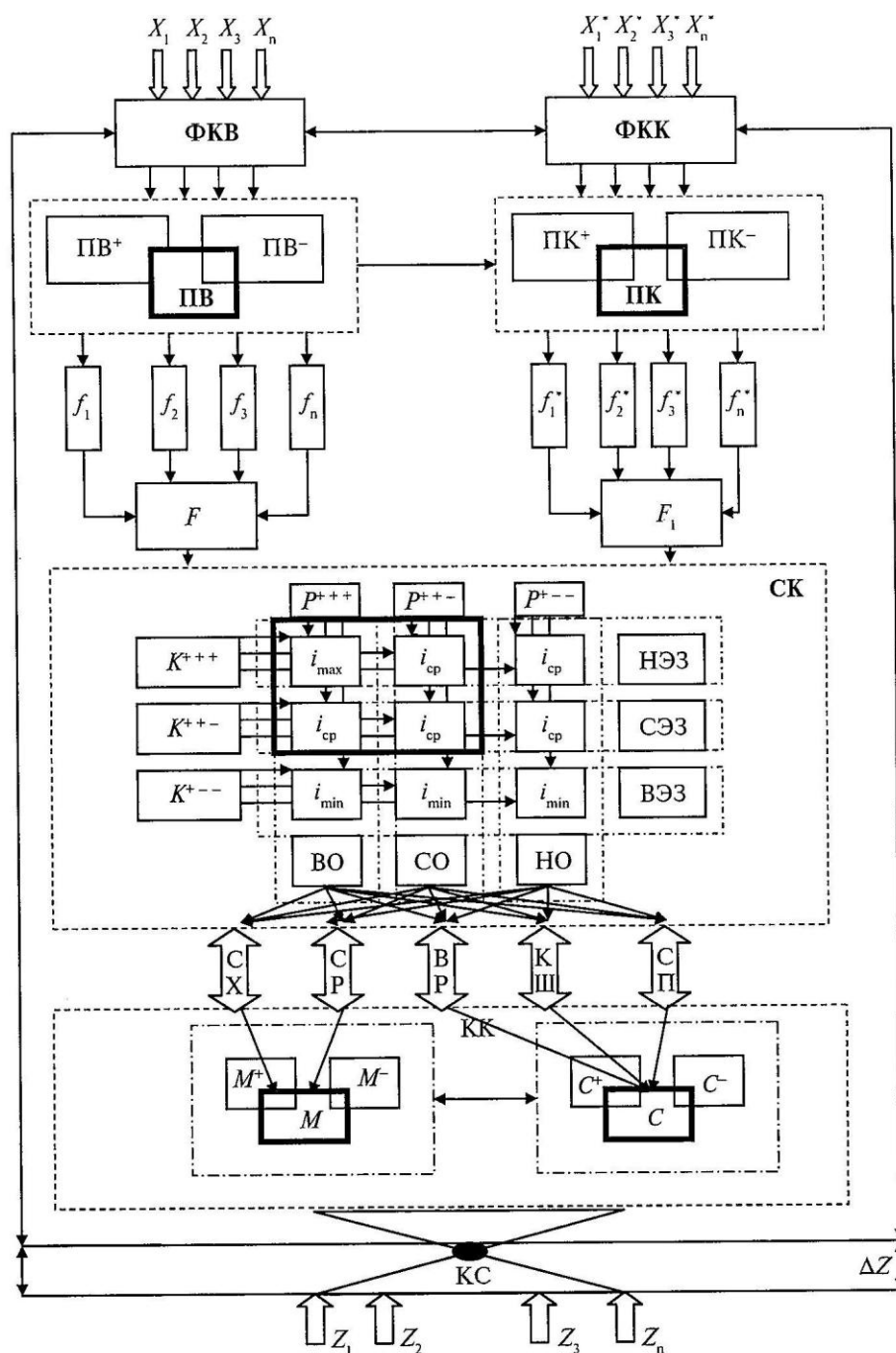


Рисунок 1. Многопараметрическая вариативная модель приготовления смеси: $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ – начальные параметры состояния воды (степень загрязнения, состав, температура и др.); $X_1^*, X_2^*, X_3^*, \dots, X_n^*$ – начальные параметры состояния компонентов корма (физико-механические, реологические, химико-биологические свойства); ФКВ – блок формирования качества воды; ФКК – блок формирования качества компонентов корма; ПВ и ПК – оптимальные параметры подготовки воды и корма; $PВ^+, PВ^-$ и $ПК^+, ПК^-$ – 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_{cp} ,

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^- и 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; ΔZ – 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, $r = d_s/2$, d_s – эквивалентный диаметр частиц, м;

ρ – плотность смеси, кг/м³;

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, одно из которых является ключевым компонентом, кг;

V – удельный объем смеси, м³/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 ρ_H – насыпная плотность смеси, кг/м³;

S_{BK} – площадь виброактивной поверхности, м²;

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 τ – сопротивление сдвигу;
 Π – 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, м³; k_{Π} – коэффициент подвижности; n – число отобранных проб; c_i – концентрация ключевого компонента в i -й пробе, %; C – идеальная концентрация ключевого компонента, %; Δc – 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	$i = \frac{N}{e S_V} k_{\mathcal{K}}$	$M = 100 \left[1 - \frac{1}{\Delta c} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c - c_i)^2} \right]$
Сухие рассыпные	15...43	$i = \frac{\rho_H S_{BK}^2 \mathcal{K} \tau \Pi A}{t^2 k_3 m}$	$C(\gamma, t) = \frac{M}{2 \rho \pi^{3/2} i t} l^{-r^2 m}$
Влажные рассыпные	44...57	$i = \frac{m V A \tau k_{\mathcal{K}} k_{\Pi}}{S_{BK} t d_{\mathcal{O}}}$	$C(\gamma, t) = \frac{M}{2 \rho \pi^{3/2} i t} l^{-r^2 m}$
Кашеобразные	58...72	$i = \frac{m V A \tau k_{\mathcal{K}} k_{\Pi}}{S_{BK} t d_{\mathcal{O}}}$	$C = \frac{m_1 - V(m_2 m_1) \rho}{m_1 + m_2}$
Супообразные	73...79	$i = \frac{m V A}{S_{BK} d_{\mathcal{O}} t}$	$C = \frac{m_1 - V(m_2 m_1) \rho}{m_1 + m_2}$

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

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

где v_o – осевая скорость движения массы корма, м/с;
 F – площадь поперечного сечения шнека, м²;
 ρ – плотность, кг/м³;
 φ_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

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

где D и d – диаметры шнека и его вала, м;
 s – шаг винта, м;
 n_c – частота вращения ($n_c = \omega / 2\pi$), с⁻¹.

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 $v_{\max} = r \omega \operatorname{tg} \alpha$, где α – 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 ($r_c = 0,35 \sqrt{D^2 - d^2}$);
 α_c – средний угол развертки винта ($\operatorname{tg} \alpha_c = s / 2\pi r_c$).

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

для горизонтального

$$N_{ш.г.} = 0,01 k Q L,$$

для вертикального

$$N_{ш.в.} = 0,01 Q L,$$

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 φ_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_L – наибольший радиус вращения лопасти, м.

Мощность N_L – 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 φ 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 α – 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 $F_{тр} = fP_n$, направленная против относительного движения частиц по лопасти.

Разложим силу трения $F_{тр}$ на окружную и осевую составляющие: $F_{тр.p}' = F_{тр} \sin \alpha = fP_n \sin \alpha$ и $F_{тр.o}' = F_{тр} \cos \alpha = fP_n \cos \alpha$.

Суммируя полученные векторы по направлениям, получим значения: окружного усилия $P_p = P_p' + F_{тр.p}' = P_n(\cos \alpha + f \sin \alpha)$; осевого усилия $P_o = P_o' - F_{тр.o}' = P_n(\sin \alpha - f \cos \alpha)$.

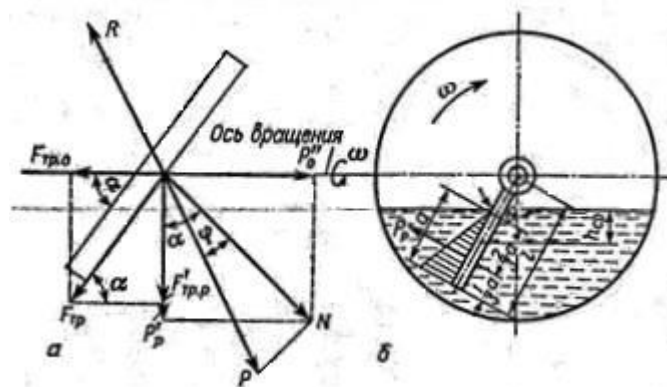


Рисунок 2. Расчетные схемы лопастного смесителя: а – действующие силы; б – конструктивные параметры.

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 $r_{ср}$ двух третей длины лопасти от оси вращения.

$$P_n = 9,81 \rho h_{cp} F_{\text{л}} \operatorname{tg}^2 \left[45 + (\varphi / 2) \right],$$

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

$F_{\text{л}}$ – проекция площади лопасти, погруженной в материал, на направление, м^2 ;

φ – 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 $N_{\text{л}}$ (кВт), потребная на привод лопастной мешалки, определится по формуле

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

где $z_{\text{л}}$ – 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 α – 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 ψ – коэффициент заполнения кожуха материалом;

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

γ – его плотность, кг/м^3 .

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;

δ – диаметр проволоки спирали, м;

α – 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 ρ 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 ω – частота вращения спирали, с⁻¹.

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_{ZCII} 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 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 τ 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 α – угол защемления,

φ – угол трения ножа о материал,

φ_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_K нормали O_1, K , получим треугольник, в котором угол AOK равен τ . 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:

$$\text{Здесь } OA = r \cdot \cos \tau, AK = r \cdot \sin \tau, \frac{T}{N} = \operatorname{tg} \varphi'.$$

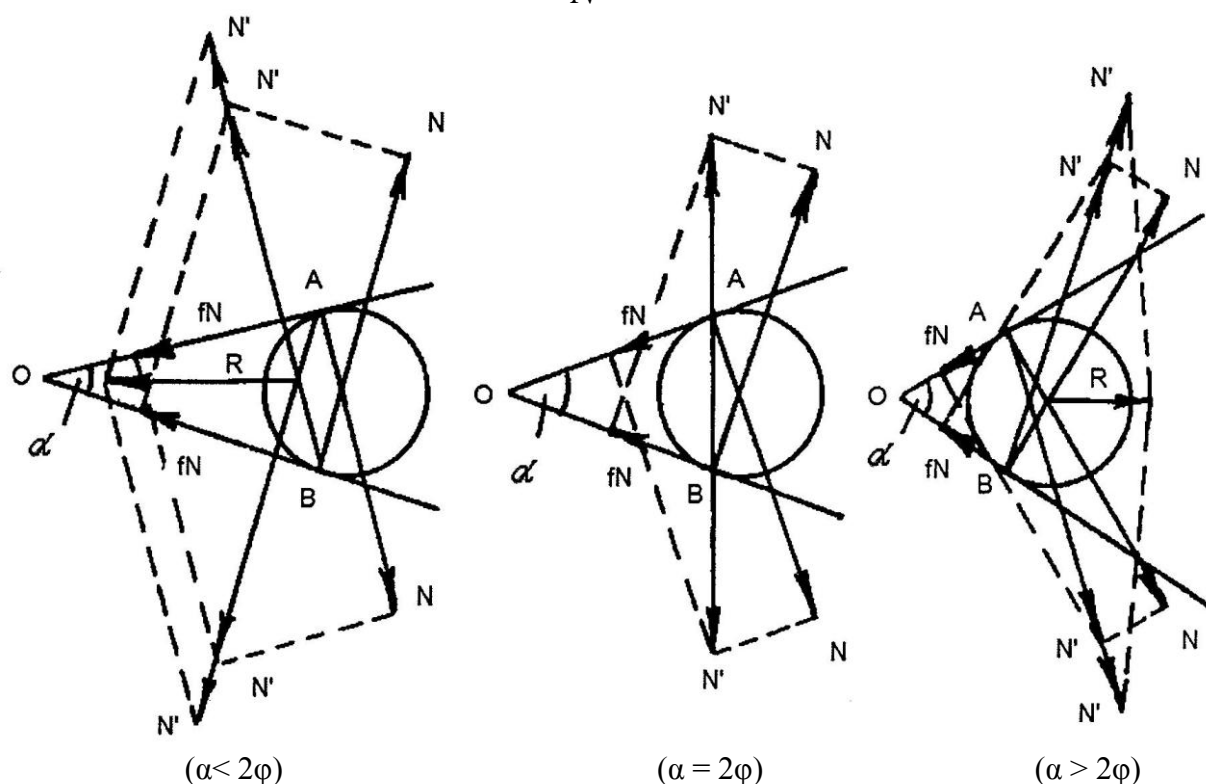


Рисунок 1. Схема определения угла защемления и равнодействующая при резании тела

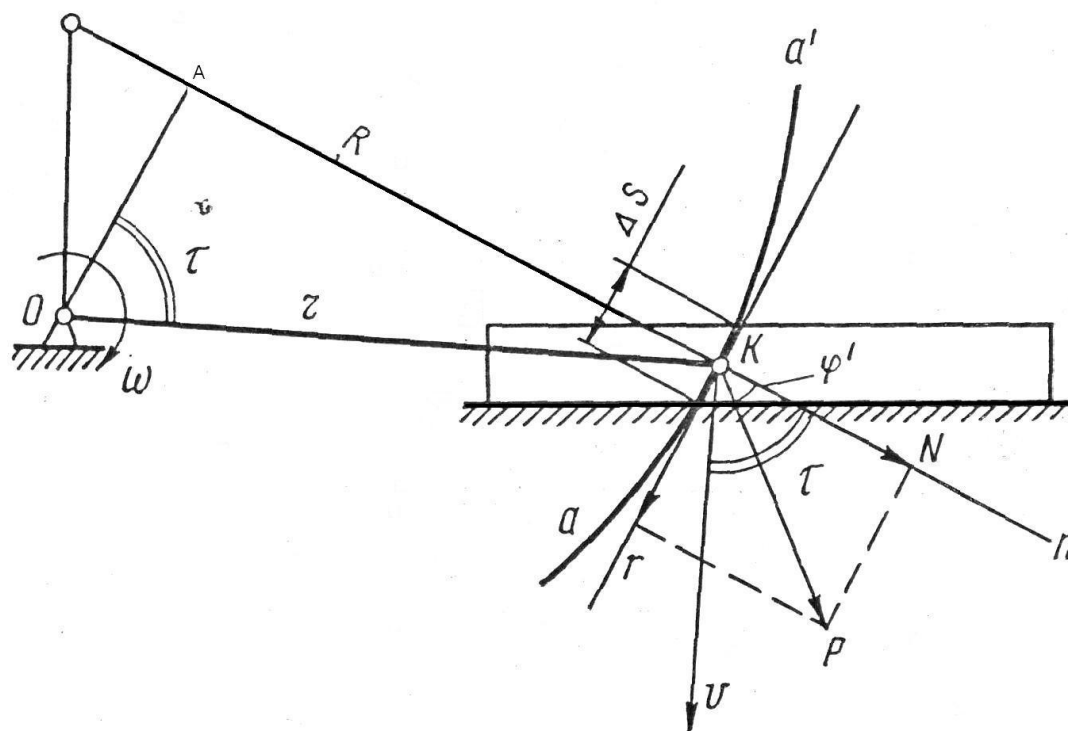


Рисунок 2. Схема работы режущего аппарата дискового типа.

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

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 $M_{\text{рез}} = r \cdot \Delta S \cdot \cos \tau (q + \operatorname{tg} \tau \operatorname{tg} \varphi')$ – 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 $(q + \operatorname{tg} \tau \operatorname{tg} \varphi')$ – обобщенная характеристика резания. Какими они должны быть, видно из графика (рис. 3а). При минимальной обобщенной характеристике выбирают оптимальный угол τ 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 τ . На графике видно, в каких пределах при минимальном q нужно выбирать τ 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 заземления должно быть выполнено по всей длине противорежущей пластины.
2. Угол скольжения τ должен находиться в оптимальных пределах и возрастать с увеличением радиуса – вектора r .

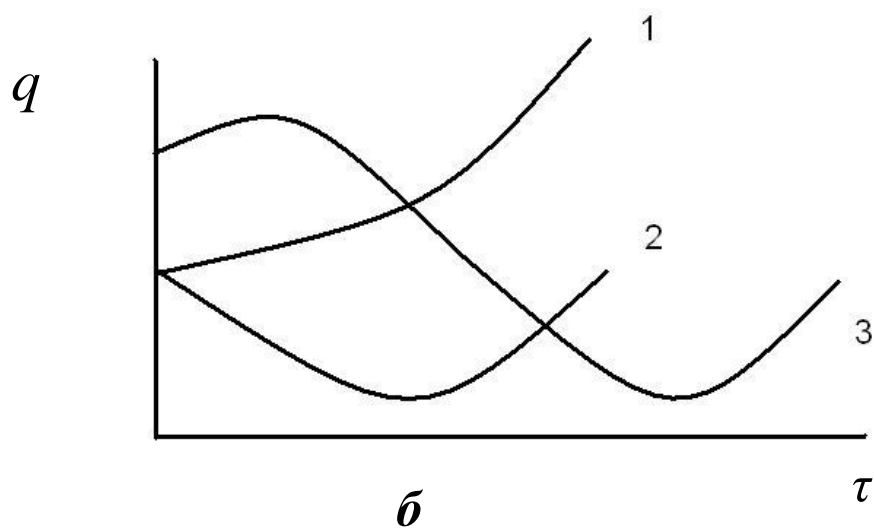
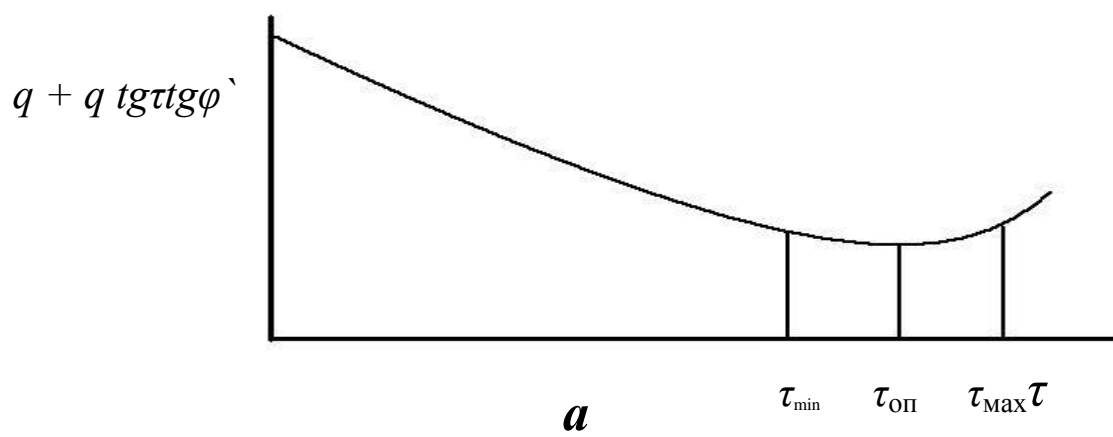


Рисунок 3.

а – диапазон изменений угла τ в зависимости от обобщенной характеристики резания

б – зависимость угла τ от удельного давления ножа на разные материалы:

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

С увеличением радиуса вектора длина загруженной части лезвия ножа ΔS 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 τ с увеличением r не возрастает, а уменьшается. ΔS с увеличением τ 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_I и B_I покажем угол скольжения τ .

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 τ в зависимости от r и угла θ , построим τ в точках A , B и C .

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

Этот искусственный прием позволил нам выявить, что угол τ 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 τ) с увеличением r уменьшается, а на участке CB – увеличивается, т.е. требование выполняется.

Наконец, ΔS – 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
τ_{\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 $M_{резр}$.

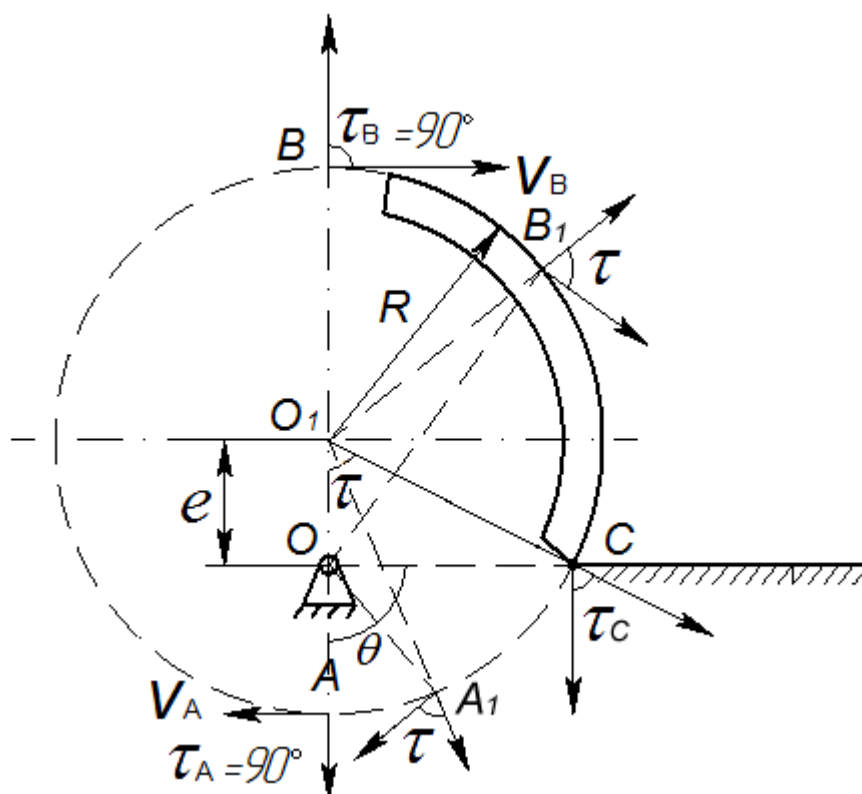


Рисунок 4а – Схема режущего аппарата

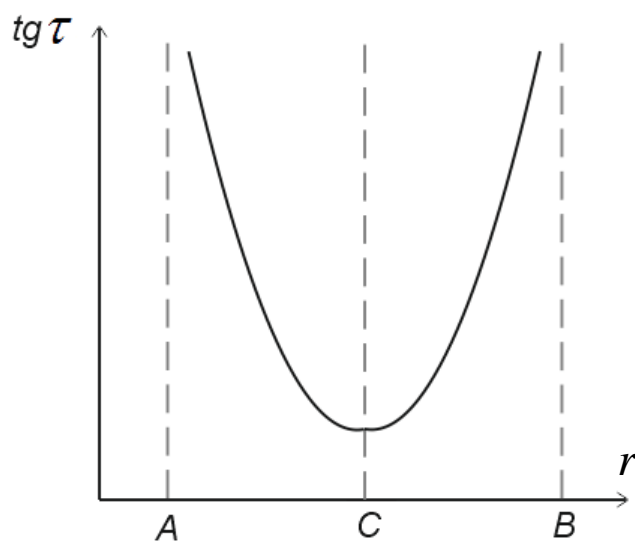


Рисунок 4б – График изменения $tg \tau$ от r

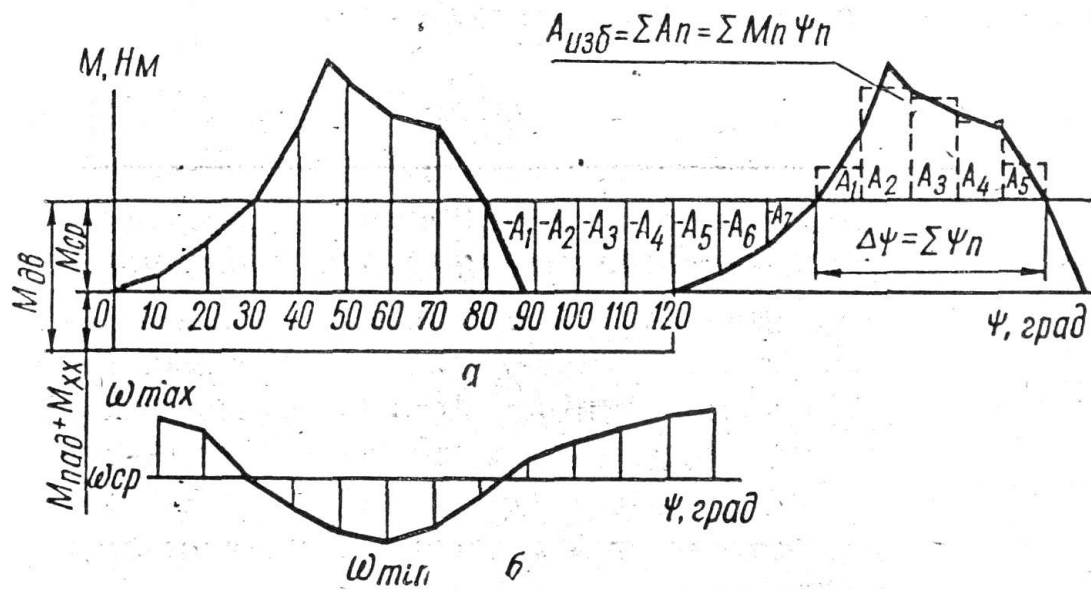


Рисунок 5. Диаграмма моментов резания (а) и график изменения угловой скорости (б).

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

$$A_{рез} = S_o \frac{2\pi}{K} M_{рез\text{ср}} \psi = S_o \frac{2\pi}{K} M_{рез\text{ср}} c l \psi$$

где K – число ножей,
 ψ – угол поворота ножа.

Тогда
$$M_{рез\text{ср}} = \frac{A_{рез} \cdot K}{2\pi} = \frac{S \cdot M_m \cdot M_\psi}{\pi}$$

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

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

$$M_{вращ} = M_{рез\text{ср}} + M_{нод} + M_{х.х.} = M_{дв}$$

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

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

1.3 Лекция №3(2 часа).

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

1.3.1 Вопросы лекции:

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

1.3.2 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

$$Q_{о.у} = Q_o Z_o$$

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

$$Z_{д.у} = \frac{(Z_o Z_{an})_{окр}}{Z_{д.а}},$$

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* Мкг/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

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

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

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

По этой величине подбираем холодильную установку.

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

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

Процессы охлаждения свежесцеженного 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 τ величины переменные, составим дифференциальное уравнение теплового баланса: **количество теплоты, отдаваемое молоком, равно количеству теплоты, проходящей через аппарат** (потери пренебрегаем), то есть

$$-M \cdot c \cdot dt_{\text{м}} = KdF (t_{\text{м}} - t_{\text{в}}) \quad (1)$$

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:

$$M \cdot c \left[t_{\text{м}} - (t_o + \tau) \right] = nM(t_{\text{в}} - t_o) \quad (2)$$

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

B – количество воды, израсходованной на охлаждение M молока.

Чтобы решить уравнение (1), нужно найти $(t_{\text{м}} - t_{\text{в}})$ и $dt_{\text{м}}$. Для этого в уравнении (2) сократим M и раскроем скобки

$$t_{\text{м}} - c - t_o c - \tau c = nt_{\text{в}} - nt_o, \text{ отсюда}$$

$$t_{\epsilon} = \frac{c(t_{\mathcal{M}} - \tau) + t_0(n - c)}{n} \quad (3)$$

$$\text{а} \quad t_{\mathcal{M}} - t_{\epsilon} = \frac{(n - c)(t_{\mathcal{M}} - t_0) + c\tau}{n} \quad (4)$$

В этом уравнении $t_{\mathcal{M}}$ – величина переменная, поэтому можно продифференцировать его относительно $t_{\mathcal{M}}$.

$$d \frac{(n - c)(t_{\mathcal{M}} - t_0) + c\tau}{n} = \frac{n - c}{n} dt_{\mathcal{M}},$$

$$\text{отсюда} \quad dt_{\mathcal{M}} = \frac{n}{n - c} d \frac{(n - c)(t_{\mathcal{M}} - t_0) + c\tau}{n} \quad (5)$$

$$\text{Обозначим} \quad \frac{(n - c)(t_{\mathcal{M}} - t_0) + c\tau}{n} = \mathbf{A}^-,$$

подставим (4) и (5) в (1) и получим

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

Проинтегрируем это уравнение

$$-M \cdot c \frac{n}{n - c} \int_{t_{\mathcal{M}}}^{t_0^{\tau}} \frac{d \mathbf{A}^-}{\mathbf{A}^-} = K \int_0^F dF \quad (6)$$

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

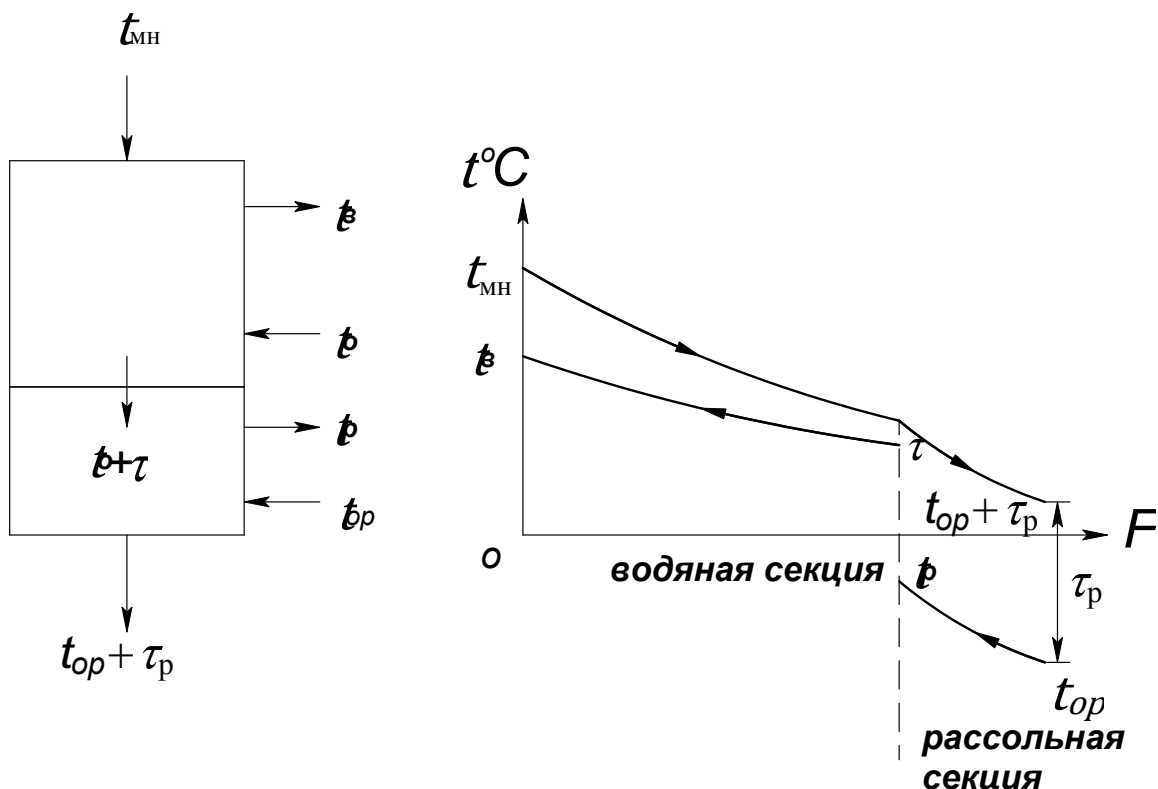


Рис. 1 - Температурная диаграмма двухсекционного охладителя

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

Поставив пределы интегрирования и решив это уравнение, мы можем получить значение *М* 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.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

2.1 Практическое занятие №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:

$$\lambda = \frac{D_z}{d_{cp}},$$

где $D_э$ – диаметр шара объемом, равным объёму одного зерна, называемый эквивалентным диаметром зерна.

d_{cp} – средневзвешенный диаметр частиц измельченного зерна, мм.

По данным С.В.Мельникова, для расчёта можно принять значение $D_э$ 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 $D_э$.

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 $V_з$, см³.

Опыт по определению одного зерна $V_з$ 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 $D_э$ по формуле:

$$D_э = \sqrt[3]{\frac{6V_з}{\pi}} = 1,24\sqrt[3]{V_з} .$$

По полученному значению $D_э$ определяют удельную площадь поверхности S_H , см²/г, исходного (начального) зернового материала по формуле:

$$S_H = \frac{6}{\rho D_э} ,$$

где ρ - плотность зерна, г/см³.

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/м², на образование единицы новой поверхности по формуле:

$$A = \frac{P_D - P_{ХХ}}{Q \Delta S},$$

где P_D – мощность на валу ротора дробилки при дроблении зерна, кВт; $P_D = 30$ кВт;

$P_{ХХ}$ – мощность холостого хода дробилки;

Q – производительность дробилки, кг/с;

ΔS – приращение удельной площади поверхности, м²/кг.

Значение P_D принимаем согласно технической характеристики; $P_{ХХ}$ 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	Степень измельчения λ	Приращение удельной площади поверхности
--------	---------------------------------	-------------------------------	---

	d_{cp} , мм		ΔS , м ² /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_{π} – 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:

$$A_{изм} = C_1 \log \left(\frac{d^2}{d_0^2} \right) - C_2 \left(\frac{d}{d_0} - 1 \right)$$

Коэффициенты C_1 и C_2 определяются опытным путём, для ячменя они могут быть приняты:

$$C_1 = (10 \dots 13) \cdot 10^3 \text{ Дж/кг};$$

$$C_2 = (6 \dots 9) \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}.$$

По результатам опытов можно построить гистограмму распределения дерти (рис. 1).

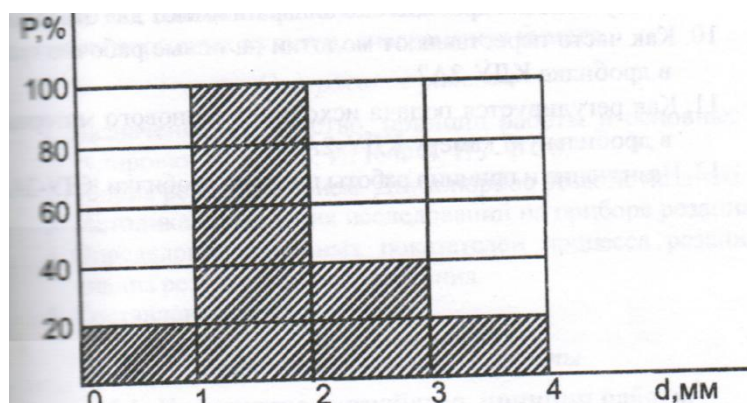


Рис. 1 Гистограмма распределения для измельчённого зерна

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 Практическое занятие №2(2 часа).

Тема: «Экспериментально-теоретическое исследование процесса гранулирования и брикетирования кормов»

2.2.1 Цель работы: Экспериментально-теоретическое исследование процесса гранулирования и брикетирования кормов

2.2.2 Задачи работы:

- 1.Определение крошимости гранул
- 2.Определение плотности гранул
- 3.Составление отчета.

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Прибор для определения крошимости гранул и пикнометр для определения плотности гранул

2.2.4 Описание (ход) работы:

Прессы для гранулирования кормов классифицируют:

По принципу прессования – на прессы с закрытой и открытой камерами, в которых противодействие 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 пресса 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 θ . Из треугольника OAD следует, что угол γ 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 β , получим:

$$\gamma = \alpha(1 - r/\Theta)$$

Это равенство позволяет определить величину угла захвата α

$$\alpha = \gamma(1 - r/\Theta)$$

где γ – угол защемления материала между вальцом и матрицей;

r – радиус вальца, м;

θ – радиус вектора DB , м

Из рисунка следует, что высота захвата слоя материала вальцем $H = \theta - DA$. Определив из треугольника OAD величину DA , получим, что

$$H = \Theta - \sqrt{r + (\Theta - r)^2 + 2r(\Theta - r)\cos \frac{\gamma}{1 - \frac{r}{\Theta}}}$$

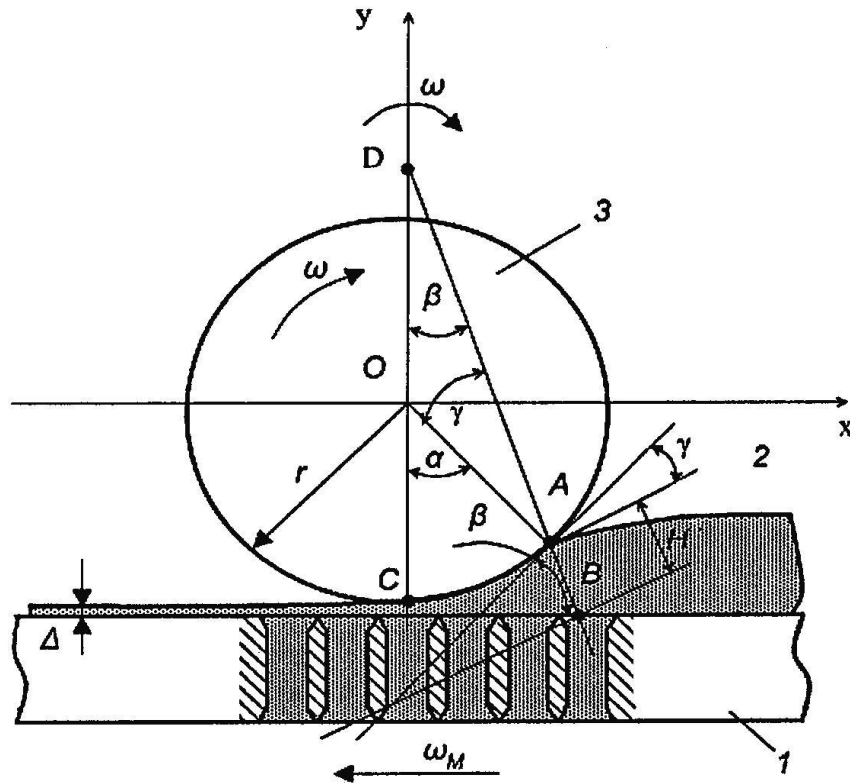


Рисунок 1. Схема к расчету высоты захватываемого слоя в горизонтальной матрице: 1 – матрица; 2 – прессуемый материал; 3 – прессующий валец.

Входящий в уравнение угол защемления γ должен быть не больше угла трения φ 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 ($B = D - d_1$);

D и d_1 – наружный и внутренний диаметры рабочей поверхности матрицы;

ρ_o – плотность корма, кг/м^3 ;

m – число вальцов;

ψ – 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^2 ;

l – длина канала, м;

ρ – плотность гранул, кг/м^3 ;

z – число каналов в матрице;

β – 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⁻¹. 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

Повторность опыта	Характеристика плотности гранул			Характеристика прочности гранул		
	Масса образца, кг	Число делений прибором	Плотность гранул ρ , г/см ³	Масса образца, кг		Крошимость K, %
		а z		начальная т	конечная 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.

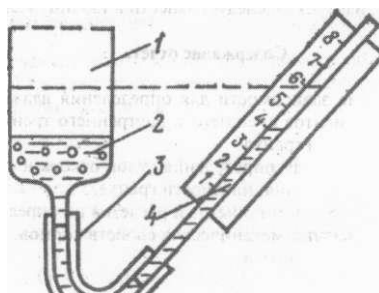


Рис. 1. Схема прибора для определения плотности гранул: 1 - мерный цилиндр; 2 - навеска гранул; 3 - резиновая трубка; 4 - мерная трубка

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:

$$\rho = \frac{m}{z} \quad 2$$

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 см³.

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?

2.3 Практическое занятие №3 (2 часа).

Тема: «Экспериментально-теоретическое определение коэффициента теплопередачи. Экспериментально-теоретические исследования и расчет пастеризаторов»

2.3.1 Цель работы: Экспериментально-теоретическое определение коэффициента теплопередачи. Экспериментально-теоретические исследования и расчет пастеризаторов

2.3.2 Задачи работы:

1. Теоретическое определение коэффициента теплопередачи.
2. Теоретические исследования и расчет пастеризаторов
3. Схем включения пастеризатора в молочную линию

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Пастеризационная установка ОПФ-1-300
2. Холодильная установка МХУ-8С
3. Экспериментальная доильная установка послойного намораживания.
4. Термометр.
5. Секундомер

2.3.4. 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 τ 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 .

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

отсюда

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

(5)

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

подставим (4) и (5) в (1) и получим

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

Проинтегрируем это уравнение

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

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

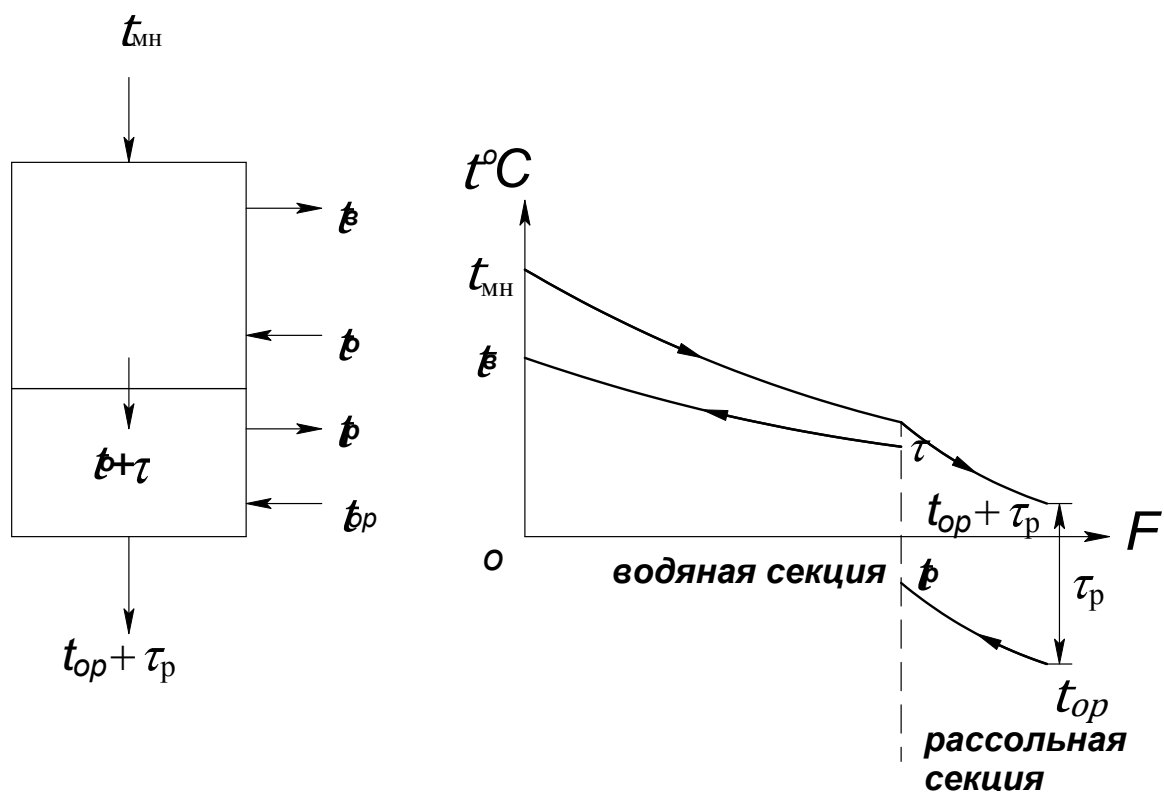


Рис. 1 - Температурная диаграмма двухсекционного охладителя

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

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

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

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**

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

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

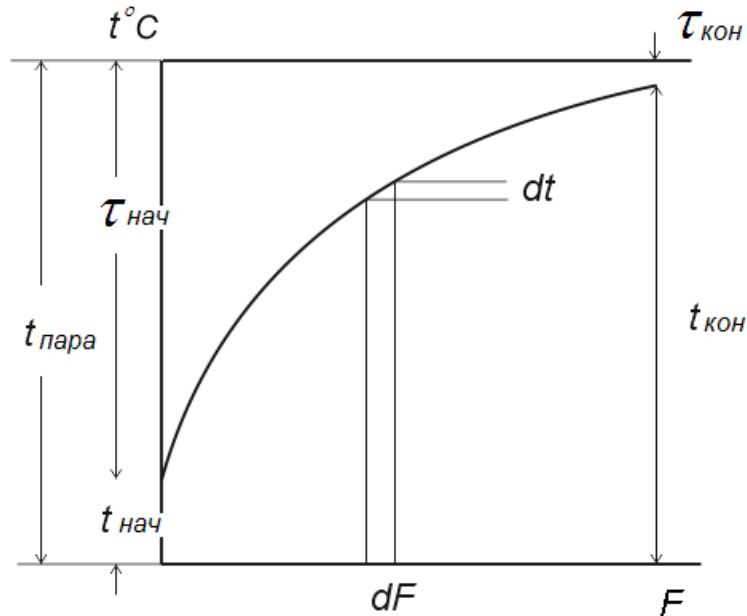


Рисунок 2 – Тепловой процесс пастеризации

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 « \rightarrow » 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 Π на пастеризацию молока определяют по формуле

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

где $i_{\text{п}}$ и $i_{\text{к}}$ – теплосодержание пара и конденсата,
 $\eta_{\text{п}}$ – 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

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

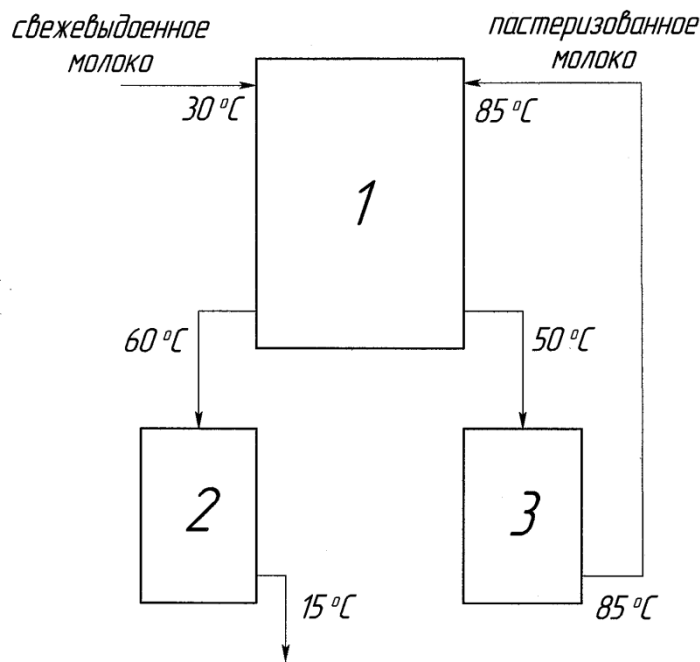


Рис. 3 Схема включения прямоточного регенератора в молочную линию: 1 – регенератор, 2 – охладитель, 3 – пастеризатор.

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

Разность температур процесса можно посчитать по формуле

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

$$aE = \frac{M \cdot c(t_{\text{рег}} - t_{\text{нач}})}{M \cdot c(t_{\text{наст}} - t_{\text{нач}})} = \frac{t_{\text{рег}} - t_{\text{нач}}}{t_{\text{наст}} - t_{\text{нач}}}$$

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

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

Контрольные вопросы.

1. Роль и значение первичной обработки молока.
2. Каковы особенности расчета холода при обработке молока?
3. Применение уравнений теплового баланса при расчете количества холода (тепла)?
4. Роль и значение пастеризации молока.
5. Тепловой процесс пастеризатора.
6. Схем включения пастеризатора в молочную линию.
7. Какое значение для молочного скотоводства имело создание сепаратора?
8. Покажите действие сил на молочный шарик и объясните, как происходит выделение сливок.

2.4 Практическое занятие №4(2 часа).

Тема: «Определение производительности фрезерующих рабочих органов погрузчика навоза»

2.4.1 Цель работы: Математически рассчитать процессы в животноводстве.

2.4.2 Задачи работы:

1. Изучить основные процессы при работе навозоуборочных средств

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Калькулятор
2. Линейка

2.4.4 Описание (ход) работы:

Траектория движения точки на режущем зубе винтового и шнекофрезерного питателей (рис. 1, а, 33, а), описывается следующей системой параметрических уравнений:

$$\begin{aligned} x &= R \cos(\omega t) + v_{\text{п}} t, \\ y &= R \sin(\omega t), \end{aligned} \quad (1)$$

где x и y – координаты точки рабочего органа в плоско вертикальной системе координат;

R – радиус вращения некоторой точки А рабочего органа, м;

ω – угловая скорость вращения точки рабочего органа, рад/с;

$v_{\text{п}}$ – 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:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 + v_{\text{п}} t + \cos \alpha R \cos(\varphi_0 + \omega t), \\ y &= y_0 + R \sin(\varphi_0 + \omega t), \\ z &= z_0 + \sin \alpha R \cos(\varphi_0 + \omega t), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где x_0, y_0, z_0 – начальные координаты точки;

α – угол наклона траектории движения к горизонтальной плоскости;

φ_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:

$$\left. \begin{aligned} x &= l_p \cos \theta + r_{fp} \cos \varphi, \\ y &= l_p \sin \theta + r_{fp} \sin \varphi, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где l_p – длина рычага, м;
 $\theta = \theta_0 + \omega_p t$ – угол поворота рычага;
 ω_p – угловая скорость рычага, рад/с;
 $\varphi = \varphi_0 + \omega_{fp} t$ – угол поворота фрезы;
 r_{fp} – радиус фрезерного барабана, м;
 ω_{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):

$$A = \pm \int_0^T y(t) x'(t) dt \quad (4)$$

при условии

$$x = x(t), \quad y = y(t), 0 \leq t \leq T$$

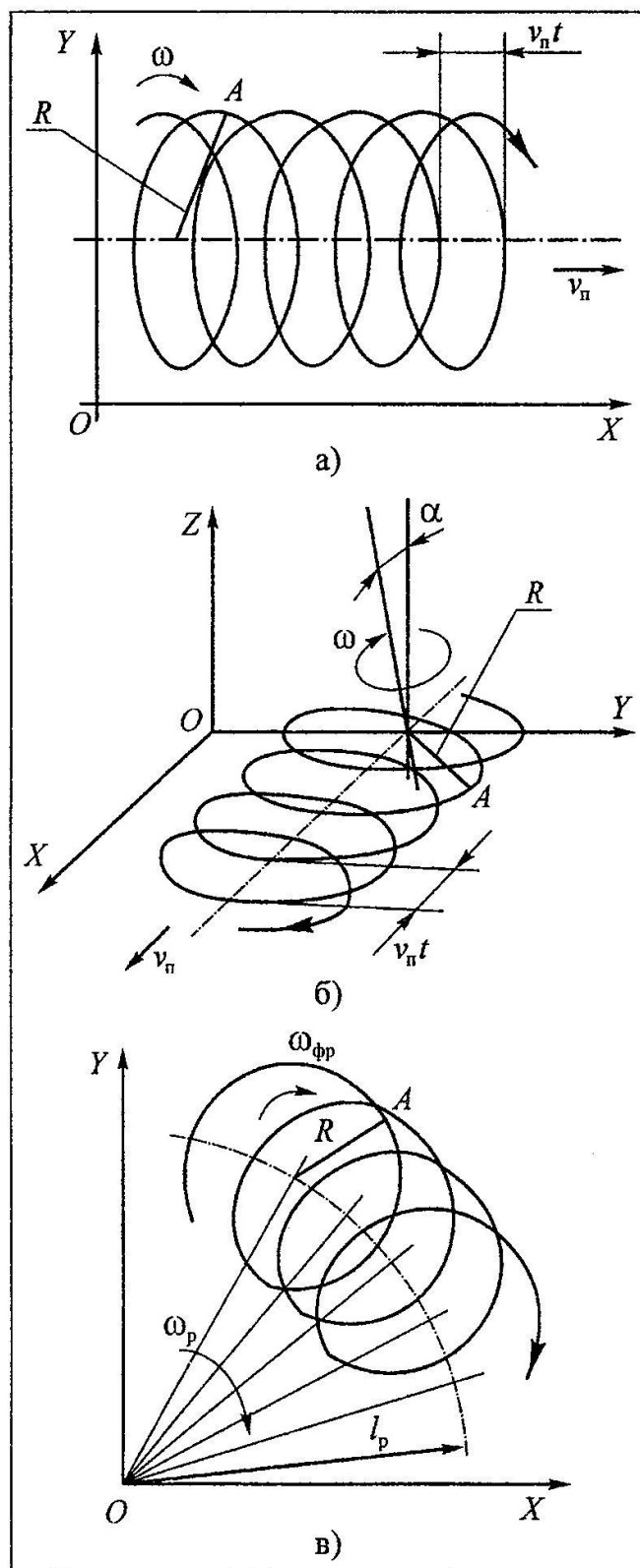


Рисунок 1. Траектория движения точки рабочего органа винтового и шнекофрезерного (а), лопастного (б) и фрезерношнекового (в) питателей.

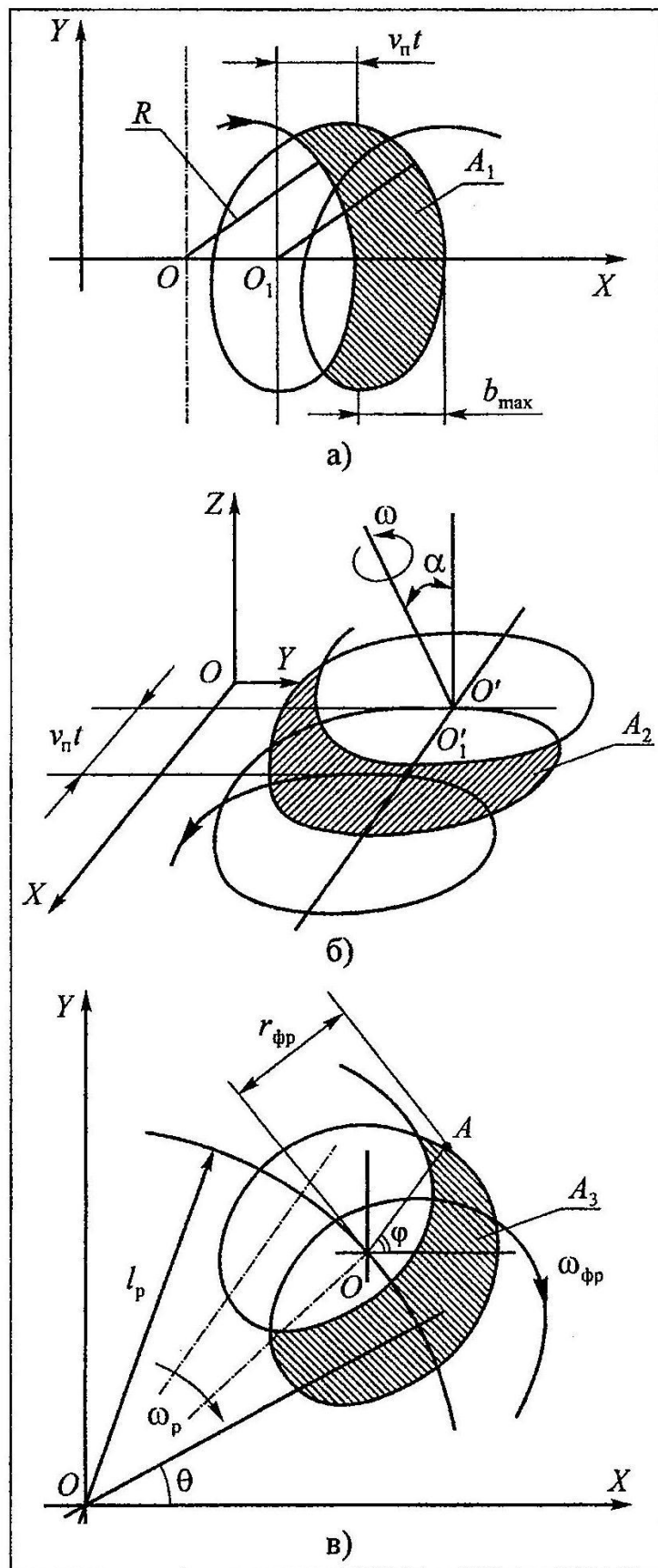


Рисунок 2. Схемы к определению площади боковой проекции стружки винтового и шнекофрезерного (а), лопастного (б) и фрезерношнекового (в) питателей.

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)

$$A_2 = \pm \int_{t_1}^{t_2} y(t) x'(t) dt = \pm \int_{t_1}^{t_2} R \sin(\varphi_0 + \omega t) [v_{\Pi} - \cos \alpha R \omega \sin(\varphi_0 + \omega t)] dt,$$

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,

$$V_3 = A_3 b_3 = b_3 \left[\left(l_p^2 \omega_p + R_{\phi p}^2 \omega_{\phi p} \right) / 2 t - (l_p^2 \sin(2\theta)) / 4 - (R_{\phi p}^2 \sin(2\varphi)) / 4 + \right. \\ \left. + [l_p R_{\phi p} (\omega_p + \omega_{\phi p}) \sin(\theta - \varphi)] / [2(\omega_p - \omega_{\phi p})] - l_p R_{\phi p} \sin(\theta + \varphi) / 2 \right] k_o,$$

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;

ρ – его плотность, кг/м³;

V – объём стружки, м³.

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_{λ} – число лопастей ротора лопастного питателя в массиве груза в момент времени t ;

R_p – радиус ротора;

ω – угловая скорость вращения лопастей.

С учетом числа z_n ножей в массиве груза производительность фрезерношнекового питателя,

$$Q_{\phi p} = \frac{\rho b_3 z_n \omega_{\phi p} k_o}{2} \left[\left(l_p^2 \omega_p + R_{\phi p}^2 \omega_{\phi p} \right) / 2 t - l_p^2 \sin(2\theta) / 4 - (R_{\phi p}^2 \sin(2\varphi)) / 4 + \right. \\ \left. + [l_p R_{\phi p} (\omega_p + \omega_{\phi p}) \sin(\theta - \varphi)] / [2(\omega_p - \omega_{\phi p})] - l_p R_{\phi p} \sin(\theta + \varphi) / 2 \right].$$

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?