

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РОГОВ ОЛЕНЕЙ СЕВЕРНЫХ ШНЕКОВЫМ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИМ МЕХАНИЗМОМ

В.Н. Тепляшин, С.К. Манасян, В.Н. Невзоров, М.С. Чуринова

В работе приведены теоретические и экспериментальные данные процесса измельчения рогов (пантов) оленей северных шнековым измельчающим механизмом в готовый продукт в виде тонкодисперсного порошка для дальнейшей реализации на рынок пищевой, медицинской и косметической промышленности и отвечающий разработанным техническим условиям на «порошок из рогов оленей северных». Установлено, что для получения тонкодисперсного порошка из рогов оленей северных необходима специальная технологическая схема поэтапного измельчения рогов, на что и была разработана запатентованная машина для резки и измельчения рогов оленей северных Эвенкийской породы с использованием шнекового измельчающего механизма. Это дает возможность получать порошок с требуемыми условиями и наименьшими энергозатратами. В результате теоретических исследований моделирования технологического процесса измельчения рогов были определены конструктивные параметры шнекового измельчающего механизма и выполнены экспериментальные исследования по оптимизации технологических параметров при измельчении рогов оленей северных.

Ключевые слова: Олень, рога, панты, технология, переработка, измельчение, шнек, модель, шнековый измельчитель.

Порошок из рогов (пантов) оленя северного занимает одно из важнейших мест среди ценного сырья, получаемого от оленей северных и наше свое широкое применение в пищевой, медицинской и косметической промышленности.

Целью моделирования технологического процесса измельчения рогов оленей северных является получение тонкодисперсного порошка согласно разработанным техническим условиям №9861-002-8802002134 «Порошок рогов северного оленя Эвенкийской породы», так как рога по своей структуре ветвистые, с внутренней стороны напоминают костное образование с кровенесущими капиллярами, то для получения однородного порошка была разработана схема технологических стадий процесса измельчения, представленная на рисунке 1.

Для разработки технологического оборудования и реализации технологического процесса измельчения на рисунке 2 представлена принципиальная схема шнекового измельчающего механизма.

Условно всю длину шнекового измельчающего механизма можно разделить на три качественно отличающихся зоны:

- зону среза дисков;
- зону раздавливания срезанных кусочков дисков;
- зону истирания раздавленных кусочков дисков до величины требуемой крупности помола.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2017

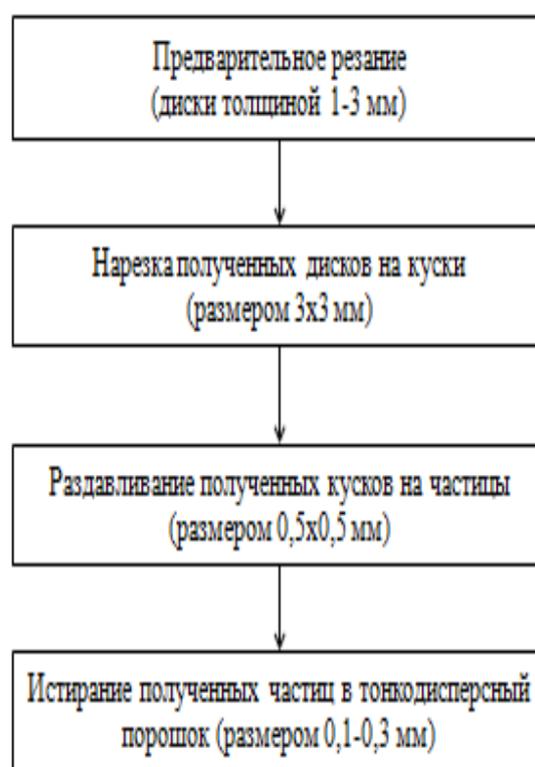


Рисунок 1 - Схема технологических стадий процесса измельчения рогов оленей северных в тонкодисперсный порошок

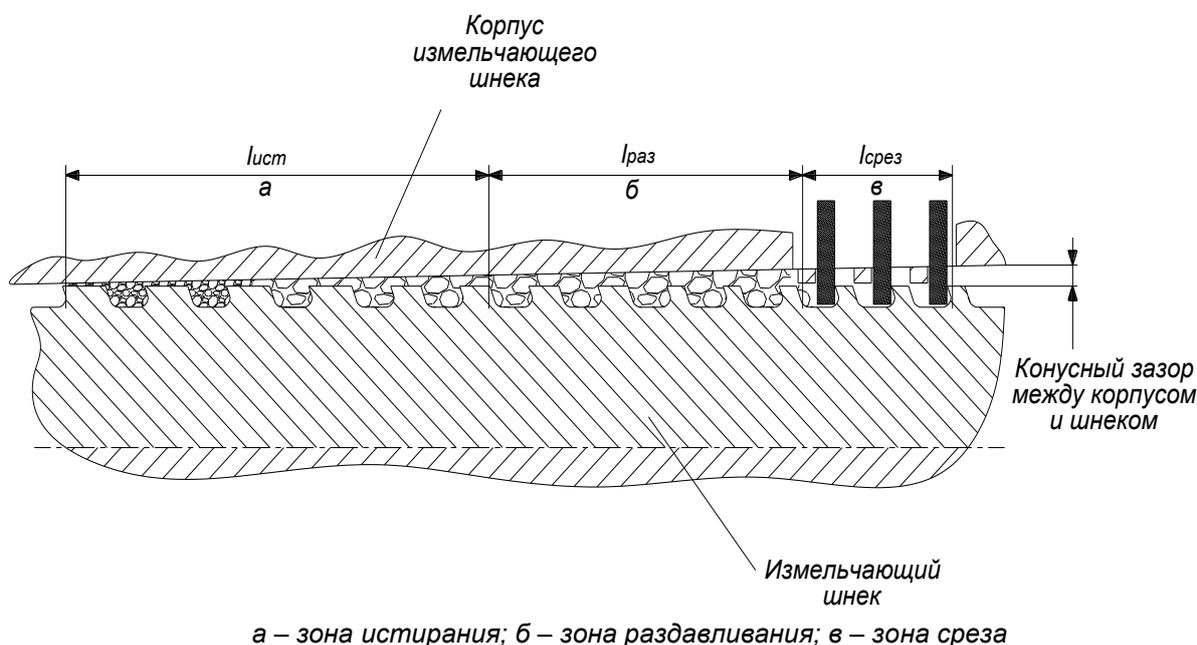


Рисунок 2 - Принципиальная схема шнекового измельчающего механизма:

Модель процесса измельчения измельчающим шнековым механизмом представим в виде уменьшающей системы, переводящей частицы объема V (со средним значением $\frac{\pi}{3}lbc$, на который накладывается «белый шум» со средним квадратическим отклонением δ_V , определенным в результате обработки экспериментальных данных), в более мелкие частицы, плоскость распределения объемов которых обозначим через $P(x)$.

Функция $P(x)$ имеет следующий смысл:

$$P(x) = P\{V_i \leq x\}, \quad (1)$$

$$i = \overline{1, M}, \quad (2)$$

$$M = \min. \quad (3)$$

Таким образом, в шнековый измельчающий механизм поступает m частиц, плотность распределения которых имеет в качестве двух первых основных числовых параметров следующие значения:

$$N = \left(\frac{\pi}{3}lbc; \delta_V\right). \quad (4)$$

Причем статистическая обработка размерных характеристик частиц на выходе в рабочую зону показала, что имеются основания полагать, что это нормальное распределение с параметрами

$$\bar{V} = \frac{\pi}{3}lbc, \delta_V, \quad (5)$$

дифференциальная функция распределения которой имеет вид

$$N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta_V} \exp\left(-\frac{(x-\frac{\pi}{3}lbc)}{2\pi\delta_V^2}\right). \quad (6)$$

При этом на выходе из шнекового измельчающего механизма получаем в качестве изображения этой функции функцию $P(x)$, которая связана с уравнением (6) интегральным преобразованием

$$P(x) = \int_{x_{min,1}}^{V+3\delta_V} N(x)K_1(x, t)dt, \quad (7)$$

где функция $K_1(x, t)$, является ядром интегрального уравнения Фредгольма-Вольтерра, служит оператором уменьшающей системы шнекового измельчающего механизма.

Используя формулу для интеграла Фурье (преобразование Фурье), которая произвольную функцию $f(x)$ преобразует в виде ее изображения $\varphi(x)$:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_A^B f(\xi) e^{-ix\xi} d\xi, \quad (8)$$

получим, что ядро преобразования имеет вид:

$$K_1(x, \xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-ix\xi}. \quad (9)$$

Здесь переменная ξ означает уменьшенные объемы частиц, полученных на выходе из шнекового измельчающего механизма. Число **ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2017**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РОГОВ ОЛЕНЕЙ СЕВЕРНЫХ ШНЕКОВЫМ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИМ МЕХАНИЗМОМ

таких частиц \min , и плотность распределения задается функцией $P(x, \xi)$, которая определяется в результате решения интегрального уравнения типа Фредгольма

$$P(x, \xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_{\min,1}}^{V+3\delta_V} N(x) e^{-ix\xi} d\xi. \quad (10)$$

Адекватность модели (1-10) проверялась путем сравнения с эмпирическими данными [4], полученными в процессе определения физико-механических параметров рогов оленей северных домашних Эвенкийской породы. Гипотеза (6) не может быть отвергнута ввиду того, что безразмерная шкала вектора $V(x)$, имеющая вид

$$t_V = (V - \frac{\pi}{3} lbc) / \delta_V, \quad (11)$$

показало расчетное значение критерия хи-квадрат Пирсона, равное 1,01 (в то время, как критическое его значение при уровне значимости 0,05 существенно больше, – равно 6,00). При помощи величины (11) не только проверяли адекватность модели, но и производили сглаживание эмпирической гистограммы по числу частиц $n=20$, взятых из первой зоны шнекового измельчающего механизма и числу классовых интервалов $k=5$ разбиения данного распределения (полученного по формуле Стерджесса). Причем, получили не только необходимое соотношение

$$\chi^2_{\text{табл.}}(p=0,95; l=k-2) < \chi^2_{\text{расч.}}, \quad (12)$$

но и в классовых интервалах с номерами -3 (при $t < -3$) и +3 (при $t > 3$) частота попаданий оказалась нулевой, что подтверждает однородность распределения (с коэффициентом вариации, не превосходящим 0,30), но и отсутствие необходимости в процедуре фильтрации данных.

Адекватность модельного представления (9) доказана сходимостью решений уравнения (7) к опытными данным с погрешностью, не превосходящей величину δ_{V2} для частиц, переходящих из первой зоны во вторую.

Модель (1) – (10) применима для теоретического описания процесса измельчения рогов оленей северных в каждой из трех рабочих зон шнекового измельчающего механизма. При этом для второй зоны функция выхода (решение модели (7) переходит во второе уравнение системы (7-9), имеющее вид (10), уже в качестве входной функции:

$$Q(x) = \int_{x_{\min,1}}^{V+3\delta_V} P(x) K_2(x, t) dt, \quad (13)$$

где функция $K_2(x, \xi)$ является операторным ядром второй уменьшающей системы (второй зоны шнекового измельчающего механизма).

Аналогично, для третьей зоны шнекового измельчающего механизма имеем

$$R(x) = \int_{x_{\min,1}}^{V+3\delta_V} Q(x) K_3(x, t) dt \quad (14)$$

Универсальность подхода позволяет три уравнения (7), (11) и (13) заменить одним уравнением типа (7) для описания технологического процесса всей измельчающей системы, представляющей последовательное соединение отдельных уменьшающих систем. В процессе разработки на этапе проектирования машины были синтезированы три уменьшающие системы со своими рабочими органами, математически описываемыми ядрами интегрального уравнения Фредгольма первого рода

$$\begin{aligned} K_1(x, t) &= V_1 e^{-ixt}, \\ K_2(x, t) &= V_2 e^{-ixt}, \\ K_3(x, t) &= V_3 e^{-ixt} \end{aligned} \quad (15)$$

В дальнейшем учитывая, что все три рабочие зоны входят в состав одного механизма, их представили в виде одной сложной уменьшающей системы с ядром

$$K(x, t) = (K_1(K_2(K_3(x, t)))) = \sqrt[3]{(V_1 V_2 V_3)} e^{-(p+q+r)ixt}, \quad (16)$$

которая позволяет настраивать и оценивать работу как отдельных рабочих органов, так и механизма в целом.

На основе выполненного теоретического обоснования шнекового измельчающего механизма разработана машина для резки и измельчения рогов оленей северных на которую получен патент Российской Федерации №2366190 [1].

Кинематическая схема машины для резки и измельчения рогов домашнего северного оленя Эвенкийской породы, представленная на рисунке 3, состоит из рамы 1, станины 2, загрузочного бункера 3, вращающего вала 4, подшипников 5, 17, дисковых пил 6, регулировочных шайб 7, электродвигателя 8, 18, муфты 9, 19, редуктора 10, 20, ременной передачи 11, 21, направляющих 12, корпуса измельчающего шнека 13, измельчающего шнека 14, режущих ножей 15, измельчающих ножей 16, разгрузочного лотка 22 [1].

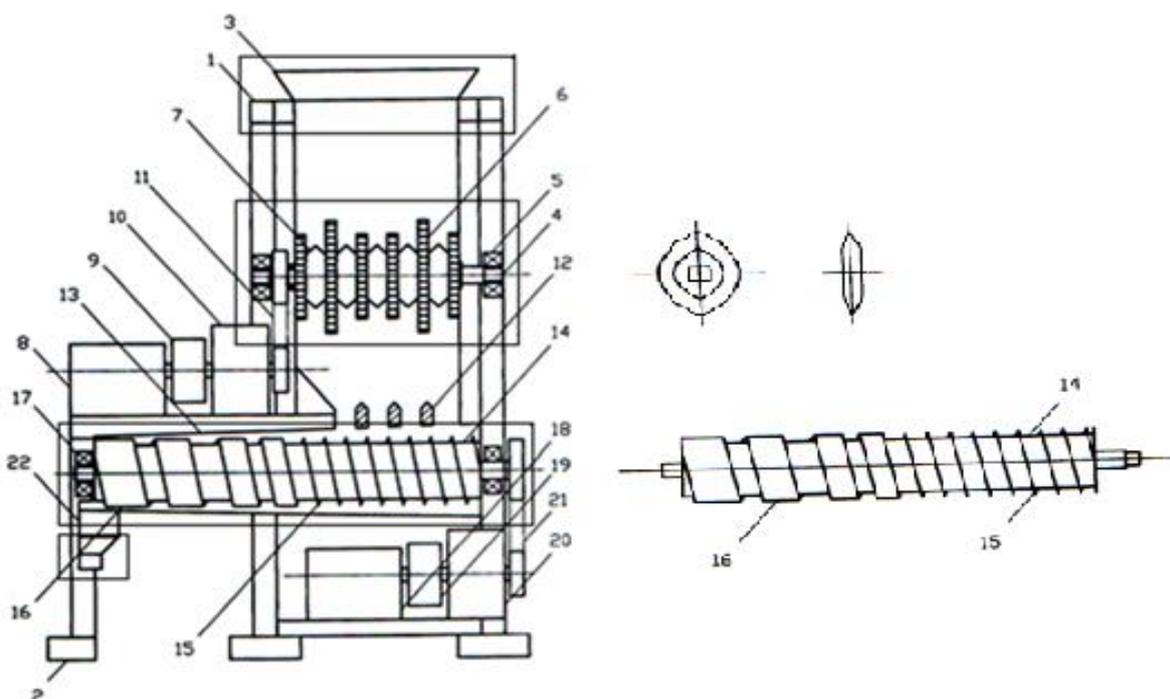


Рисунок 3 - Машина для резки и измельчения рогов домашнего северного оленя Эвенкийской породы

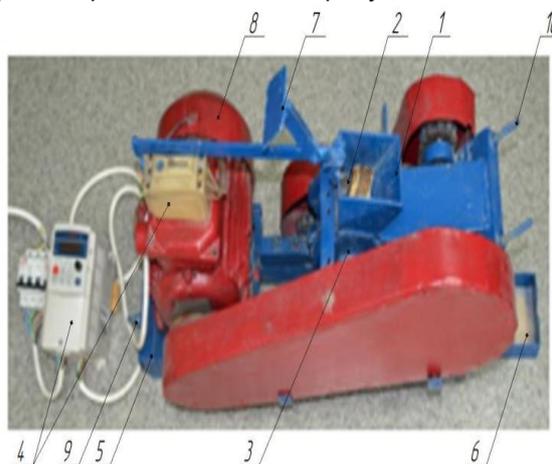
Рога домашнего северного оленя эвенкийской породы из разгрузочного бункера 3, установленного на раме, поступают на дисковые пилы 6, закрепленные на вращающемся валу 4, где распиливаются на одинаковые доли.

Разрезанные одинаковые доли рогов падают на направляющие 12 и дальше на режущие ножи 15 шнека 14. Образовавшаяся стружка при резании рогов попадает на регулировочные шайбы 7 и за счет центробежных сил также сбрасывается на режущие ножи 15 шнека 14.

При вращении шнека 14 режущие ножи 15 разрезают отпиленные кусочки рогов и стружку на мелкие частицы, при этом за счет вращения шнека 14 мелкие частицы поступают на измельчающие ножи 16.

Выполненная конусная конструкция корпуса 13 измельчающего шнека 14 и увеличивающиеся по ширине режущей кромки измельчающие ножи 16 позволяют производить растирание поступившей измельченной стружки до тонкодисперсного состояния в виде порошка, который затем выводится через разгрузочный лоток 22 в приемную тару. В результате достигается требуемый результат – повышение качества измельчения и получение однородного качественного порошка из рогов домашнего оленя эвенкийской породы.

По разработанной кинематической схеме был изготовлен экспериментальный образец машины для резки и измельчения рогов домашнего северного оленя Эвенкийской породы, представленная на рисунке 4.



1 - загрузочный бункер; 2 – режущий механизм; 3 - измельчающий механизм;
4 - панель управления; 5 – рама;
6 - лоток для готовой продукции;
7 – питатель; 8 – электродвигатель;
9, 10 – натяжной болт

Рисунок 4 - Общий вид экспериментальной установки

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РОГОВ ОЛЕНЕЙ СЕВЕРНЫХ ШНЕКОВЫМ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИМ МЕХАНИЗМОМ

Общая длина измельчающего шнека составляет 300 мм из которых: 100 мм - длина зоны среза, 100 мм длинна зоны раздавливания и 100 мм - длинна зоны истирания.

Высота витка на измельчающем шнеке для всех зон измельчения равна 2 мм.

Ширина рабочей поверхности витка по зонам измельчения:

- зона среза равна 2 мм;
- зона раздавливания равна 6 мм;

В результате обработки полученных данных по определению модуля помола рога оленя северного на изготовленном лабораторном образце имитирующим работу машины для резки и измельчения рогов домашнего северного оленя Эвенкийской породы при разных режимах работы было получено уравнение регрессии

$$Y = -0,45588 + 0,890444 * X_6 - 2,81682 * X_9 + 0,06986 * X_1 * X_9 - 0,14996 * X_6^2 + 0,05988 * X_6 * X_8 + 0,01875 * X_6 * X_9 - 0,19131 * X_8^2 + 0,424152 * X_8 * X_9 + 2,368069 * X_9^2,$$

где X_1 - скорость дискового режущего аппарата, X_6 - толщина нарезанных дисков из рогов оленей северных, X_8 - скорость измельчающего шнека, X_9 - зазор между корпусом измельчающего шнека и самим измельчающим шнеком.

Поверхность отклика, представленная на рисунках 5, 6 при X_1 X_9 Constanta, на рисунке 7, 8 при X_1 X_8 Constanta и на рисунке 9, 10 при X_1 X_6 Constanta.

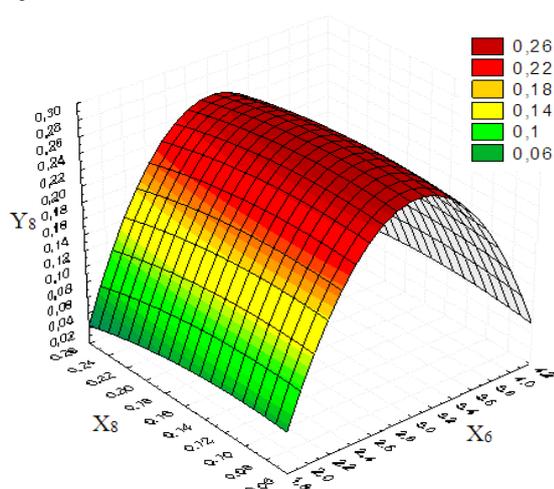


Рисунок 5 - Зависимость изменения модуля помола порошка из рогов оленей северных Y при $X_1=0,166$ и $X_9=0,3$

- зона истирания равна 10 мм.

Расстояние шага между витками измельчающего шнека равно 4 мм.

При проведении экспериментальных исследований на машине для резки и измельчения рогов оленей северных использовался измельчающий шнек с наружным диаметром: 60 мм; 59,7 мм; 59,4 (шаг варьирования 0,3 мм).

Внутренний диаметр корпуса шнекового измельчающего механизма равен 60,3 мм.

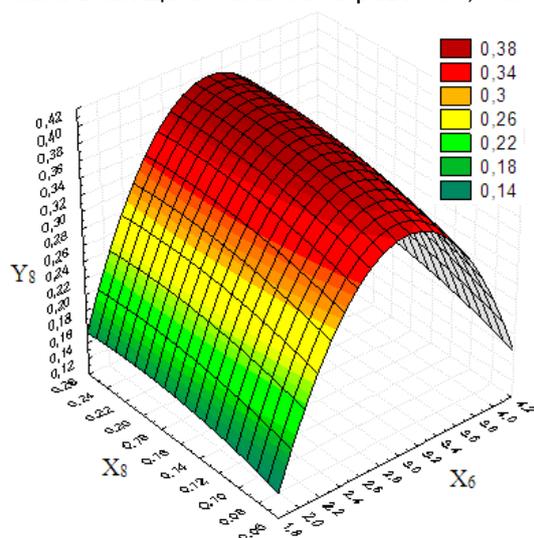


Рисунок 6 - Зависимость изменения модуля помола порошка из рогов оленей северных Y при $X_1=0,5$ и $X_9=0,9$

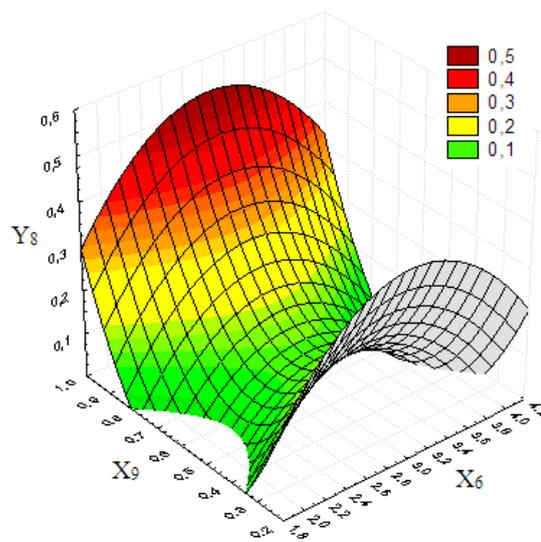


Рисунок 7 - Зависимость изменения модуля помола порошка из рогов оленей северных Y при $X_1=0,166$ и $X_9=0,083$

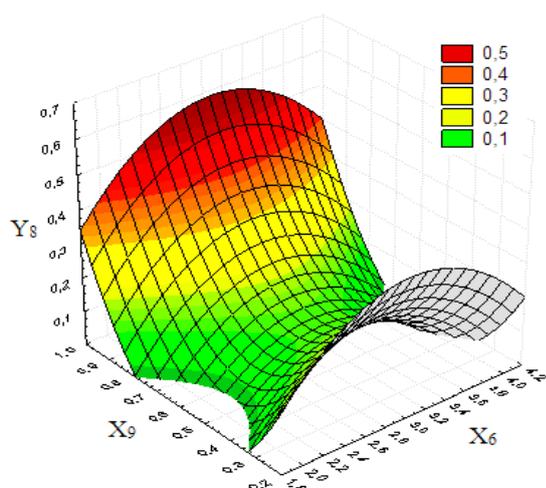


Рисунок 8 - Зависимость изменения модуля помола порошка из рогов оленей северных Y при $X_1=0,5$ и $X_6=0,25$

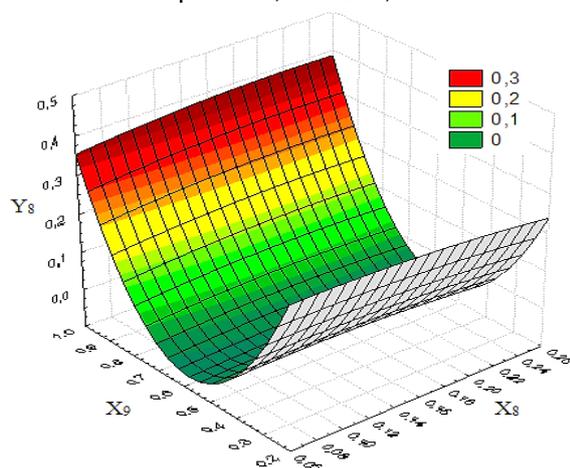


Рисунок 9 - Зависимость изменения модуля помола порошка из рогов оленей северных Y при $X_1=0,166$ и $X_6=2$

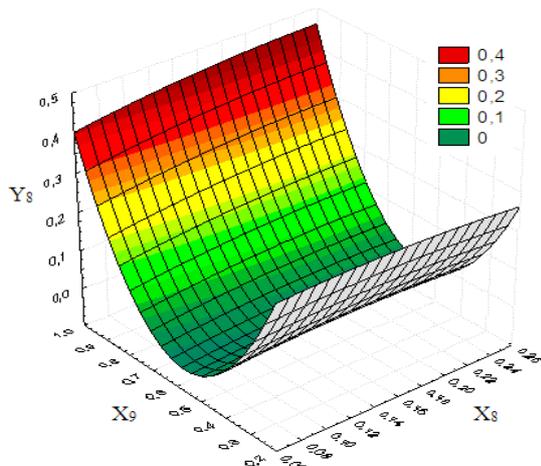


Рисунок 10 - Зависимость изменения модуля помола порошка из рогов оленей северных Y при $X_1=0,5$ и $X_6=4$

Анализ полученных зависимостей модуля помола порошка из рогов оленей северных от скорости дискового режущего аппарата (X_1), толщины нарезанных дисков из рогов оленей северных (X_6), скорости измельчающего шнека (X_8) и зазора между корпусом измельчающего шнека и самим измельчающим шнеком (X_9), при двух постоянных факторах из четырех на нижнем уровне показал наличие экстремума функции Y при постоянной скорости дискового режущего аппарата равной $0,166 \text{ с}^{-1}$ и зазоре между корпусом измельчающего шнека и самим измельчающим шнеком равным $0,3 \text{ мм}$.

Экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РГНФ и Красноярского краевого фонда поддержки научной деятельности, проект №17-12-24004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2366190 Российская Федерация, МПК А22С17/06. Машина для резки и измельчения рогов домашнего северного оленя Эвенкийской породы / Тепляшин В.Н., Невзоров В.Н.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Красноярский Государственный Аграрный Университет. - № 2008109285/13; заявл. 11.03.2008; опубл. 10.09.2009. - 7 с.
2. Невзоров, В.Н. Совершенствование технологии переработки рогов домашнего северного оленя Эвенкийской породы / В.Н. Невзоров, В.И. Гаюльский, В.В. Беляев, А.А. Ефремов, В.Н. Тепляшин // Вестник КрасГАУ. - 2007. - № 6. - С. 254-259.
3. Тепляшин, В.Н. Анализ конструкции машин и оборудования для дробления костей и рогов / В.Н. Тепляшин // Молодые ученые - науке Сибири: сб. ст. молодые ученые. Вып. 3. Ч. II / Краснояр. Гос. Аграр. Ун-т. - Красноярск, 2008. - С. 177-179.
4. Тепляшин, В.Н. Определение физико-механических свойств пантов и рогов оленей северных домашних Эвенкийской породы / В.Н. Тепляшин, Н.А. Дроздова // ВЕСТНИК КрасГАУ. - 2012. - № 10. - С. 192-196.

Тепляшин Василий Николаевич, старший преподаватель кафедры «Технология, оборудование бродильных и пищевых производств», Красноярский Государственный Аграрный Университет, e-mail: teplyshinvn@list.ru, тел. 8-950-984-09-63.

Манасян Сергей Керопович, доктор технических наук, профессор, директор ООО «НовоТех», г. Красноярск, e-mail: manasyans@mail.ru, тел. 8-923-572-53-65

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РОГОВ
ОЛЕНЕЙ СЕВЕРНЫХ ШНЕКОВЫМ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИМ МЕХАНИЗМОМ

Невзоров Виктор Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология, оборудование бродильных и пищевых производств», Красноярский Государственный Аграрный Университет, e-mail: nevzorov1945@mail.ru, тел. 8-960-773-01-58

Чуринова Майя Сергеевна, старший научный сотрудник отдела организации и сопровождения научных исследований, Красноярский Государственный Аграрный Университет, e-mail: grantkrasgau@mail.ru, тел. 8-923-320-19-86