

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ РОГОВ ОЛЕНЕЙ СЕВЕРНЫХ

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

В работе приведены теоретические и экспериментальные исследования процесса резания рогов оленей северных дисковыми пилами для последующего измельчения и получения порошков. Установлено, что консервированные рога (панты) имеют криволинейную форму, различные диаметры и линейные размеры по длине. Результаты обработки экспериментальных данных и полученные аналитические зависимости по геометрическим параметрам рогов (пантов) позволили изменить типовую конструкцию режущих аппаратов на модернизированную, где формирование набора дисковых пил разных диаметров производилось по теоретической линии, близкой к усредненной форме рога (панта). Такие конструктивные изменения дискового режущего аппарата обеспечивают одновременное резание рога (панта) по всей его длине, что оптимизирует технологический процесс резания по времени резания рогов (пантов) и приводит к снижению общих трудовых и энергетических затрат на выполнение данной рабочей операции. В результате теоретических исследований моделирования технологического процесса резания рогов, определены конструктивные параметры машины для резки рогов, выполнены экспериментальные исследования по оптимизации технологических параметров при резании рогов оленей северных.

Ключевые слова: Моделирование, аналитические зависимости, технологический процесс резания, рога (панты), диаметр, форма рога, дисковые пилы, режущий аппарат, машина, изобретение.

В Арктической зоне и северных территориях Красноярского края для коренных малочисленных народов основным жизнеобеспечивающим направлением развития сельского хозяйства является олень северный.

Рога (панты) оленя северного занимают одно из важнейших мест среди ценного сырья, получаемого от оленей северных, требующего инновационного технического подхода к переработке рогов в готовую продукцию для дальнейшей реализации в пищевой, медицинской и косметической промышленности [1-3].

Решение вопросов инновационного развития промышленности в отдаленных северных территориях осуществляется путем переработки рогов (пантов) в мелкодисперсный порошок, который не требует дорогостоящего холодильного оборудования и может транспортироваться на большие расстояния без потерь качественных показателей.

Сбор статистического материала по геометрическим параметрам консервированных рогов (пантов) производился в мини - цехе для консервации пантов по технологии разработанной в Красноярском ГАУ и расположенном в оленеводческо-племенном хозяйстве «Суриндинский» Эвенкийского муниципального района Красноярского края.

Общий вид мини - цеха представлен на рисунке 1.

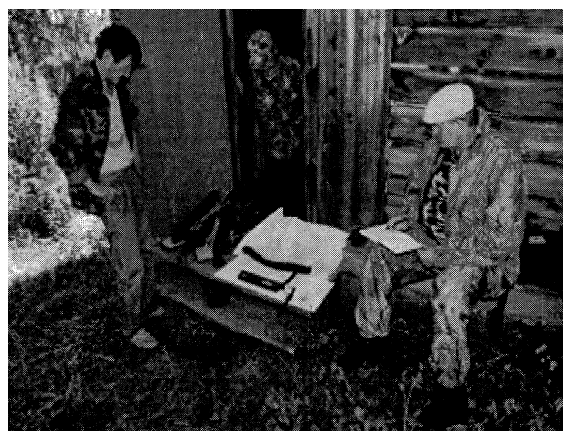


Рисунок 1 - Мини - цех по переработке рогов (пантов) оленей северных

В процессе сбора и обработки экспериментальных данных было установлено, что средняя длина консервированных рогов равна 546 мм, средний диаметр по месту среза панта равен 45 мм.

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований геометрических параметров законсервированных рогов (пантов) оленей северных показала, что обработка результатов измерений отклонения рогов (пантов) по кривизне от прямой линии между нижними точками диаметра среза

панта и верхним концом панта подчиняются нормальному закону распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где x_i - текущее значение параметра отклонения кривизны, мм; \bar{x} - среднее значение, мм;

σ - среднеквадратическое отклонение, мм.

На рисунке 2 представлены результаты статистической обработки экспериментальных и теоретических данных по кривизне пантов.

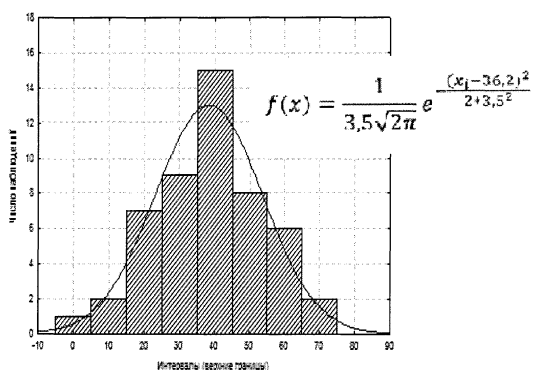


Рисунок 2 – Результаты статистической обработки геометрической формы рогов (пантов) оленей северных

Проверка полученных статистических данных проводилась с помощью критерия Хи-квадрат и он равен 7,5 при доверительной вероятности 0,1.

Учитывая установленную закономерность изменения кривизны рогов (пантов) оленей северных, был разработан новый способ размещения дисков на режущем аппарате машины для резки и измельчения рогов оленей северных представленный на рисунке 3.

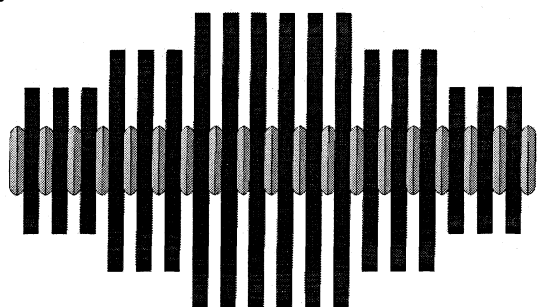


Рисунок 3 - Дисковый режущий аппарат

Для обоснования линейных размеров дискового режущего аппарата было выполнено математическое моделирование процесса взаимодействия рогов (пантов) оленей северных и дисковых пил.

В начальный момент времени входящая крупная частица (рог оленя северного, рис. 4) поступающая на резания может быть описана при помощи двух функций

$$f_0 = (f_{01}(r), f_{02}(r)), \quad (2)$$

где $r=(x, y, z)$.

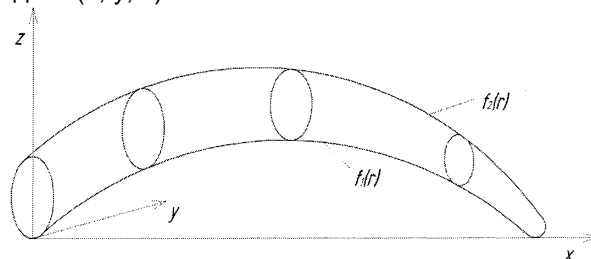


Рисунок 4 - Геометрическое изображение рога (панта) оленя северного

В декартовой системе координат функции f_{01} и f_{02} представляются в виде:

$$z = f_{01}(x, y); \quad (3)$$

$$z = f_{02}(x, y). \quad (4)$$

Объем рога может быть выражен через двойной интервал

$$V = \iint_{D_{xy}} (f_{02}(x, y) - f_{01}(x, y)) dx dy, \quad (5)$$

который после аппроксимации области интегрирования двойного интеграла D_{xy} (рис. 5), которая ограничена функцией

$$y = \varphi(x), \quad (6)$$

осями координат Ox , Oy , и прямой

$$y = kx + b, \quad (7)$$

с учетом значений длины и ширины рога:

$$l = x_{max}; \quad (8)$$

$$b = y_{max}, \quad (9)$$

и соотношения:

$$y(0) = l = b; \quad (10)$$

$$y(l) = kl + b = 0; \quad (11)$$

$$k = -\frac{b}{l}, \quad (12)$$

представляется в виде:

$$V = \iint_{\begin{cases} x=0 \\ y=0 \\ y=-\frac{b}{l}x+b \end{cases}} [f_{02}(x, y) - f_{01}(x, y)] dx dy. \quad (13)$$

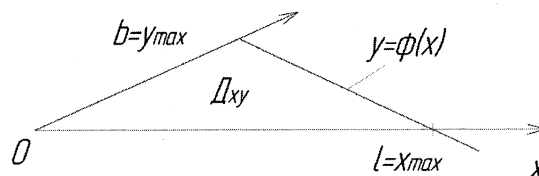


Рисунок 5 - Объем рога оленя северного в виде области D_{xy}

Функцию

$$f_0(x, y) = (f_{01}(x, y), f_{02}(x, y)), \quad (14)$$

представим в виде двумерной обобщенной σ функции

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ РОГОВ ОЛЕНЕЙ СЕВЕРНЫХ

$$\iint_{\Delta_{xy}} f_0(x, y) \sigma(x, y) dx dy dz = f_0(0, 0, 0), \quad (15)$$

где σ - дельта - функция Дирака, для которой справедливо представление:

$$\sigma(x, y) = \sigma(x) \sigma_y \sigma_z. \quad (16)$$

Тогда

$$f_0(r_0) = \int f_r \sigma(r - r_0) dV. \quad (17)$$

Интеграл (13) из двойного можно преобразовать в повторный:

$$V = \int_0^c dz \int_0^b dy \int_0^l (f_{02} - f_{01}) dx. \quad (18)$$

Анализируя эмпирические функции $f_0(x, y)$, установим, что их с достаточной точностью можно аппроксимировать эллиптическими функциями

$$\frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{a_2^2} + \frac{z^2}{a_3^2} = 1. \quad (19)$$

причем полуоси эллипса равны половинам линейных размеров рога:

$$a_1 = \frac{l}{2}; \quad (20)$$

$$a_2 = \frac{b}{2}; \quad (21)$$

$$a_3 = \frac{c}{2}. \quad (22)$$

Уравнение (18) задает начальное условие модели процесса резания дисковым режущим аппаратом образуется n частиц объемами V_i ,

$$\sum_{i=1}^n V_i = V. \quad (23)$$

Разработанная математическая модель процесса резания дисковым режущим аппаратом служит основой задания начальных условий модели технологического процесса резания. Абсолютные погрешности аппроксимации формы и объема рогов оленей северных формами (18) и (19) не превосходят величину их стандартных отклонений, что свидетельствует об их достаточной адекватности и допустимости использования в практических целях. В пользу применимости (или по крайней мере, того, что они не могут быть отвергнуты) предложенных моделей, кроме того можно указать на следующие немаловажные обстоятельства:

- формулы (18) и (19) получены на основе эталонного метода с использованием случайной репрезентативной выборки достаточно большого объема ($n=100$), с полученными оценками погрешностей, подтверждающими их приемлемую адекватность (относительная погрешность менее 25%);

- среднеквадратическая погрешность оценки объема на основе системы уравнений (18-19) мала и имеет на порядок меньшие значения по сравнению со средними значениями оцениваемых величин;

- относительные погрешности оценок сравнимы и в среднем не отличаются суще-

ственно от интервальной оценки эмпирического коэффициента вариации искомой величины;

- результаты оценки по формуле (18) с учетом (19) показали высокую корреляцию с отобранными в качестве «эталонных» значениями (коэффициент корреляции $r=0,83$ прошел проверку на значимость по критерию Стьюдента);

- формула (18-19) прошла перекрестную «проверку» на дополнительной (независимой) выборке.

Полученные математические модели позволили оптимизировать диаметры и размещение дисковых пил в запатентованной машине для переработки рогов (пантов) №2366190 представленной на рисунке 6, что понизило общие энергозатраты по выполнению рабочих операций резания рогов на технологические заготовки для последующего измельчения [4].

Кинематическая схема машины для резки и измельчения рогов домашнего северного оленя Эвенкийской породы, представленная на рисунке 6, 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 [4].

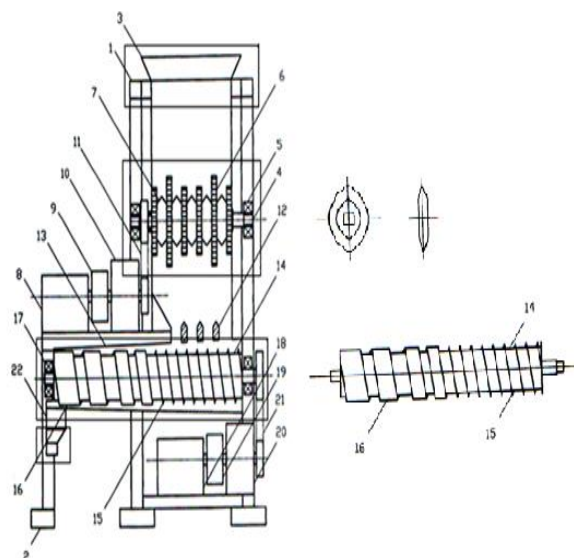


Рисунок 6 - Машина для резки и измельчения рогов домашнего северного оленя Эвенкийской породы

Рога домашнего северного оленя эвенкийской породы из разгрузочного бункера 3,

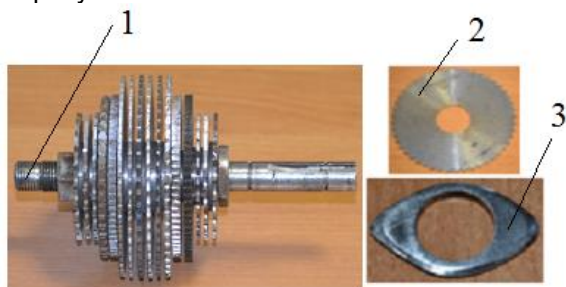
установленного на раме, поступают на дисковые пилы 6, закрепленные на вращающемся валу 4, где распиливаются на одинаковые доли.

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 дискового режущего аппарата был изготовлен экспериментальный образец машины для резки и измельчения рогов домашнего северного оленя Эвенкийской породы, общий вид дискового режущего аппарата представлен на рисунке 7.



1 - вал; 2 - дисковая пила;
3 - регулировочная шайба

Рисунок 7 – Дисковый режущий аппарат

В результате обработки полученных данных по определению затраченной мощности лабораторного образца «машины для резки и измельчения рогов оленей северных» при разных режимах работы было получено уравнение регрессии,

$$Y = 30,444 - 135,9 * X_1 + 7,1 * X_9 + 196,1 * X_1^2 + 40,2 * X_1 * X_8 - 0,2 * X_6^2 + 158,6 * X_8^2,$$

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 8, 9 при X_6 и X_9 Constanta.

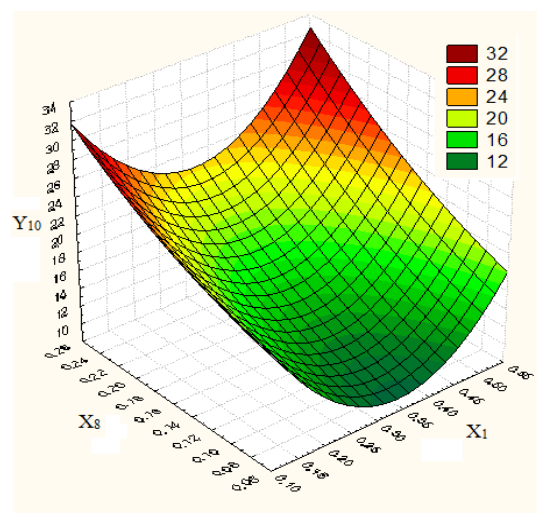


Рисунок 8 - Зависимость изменения мощности машины для резки и измельчения рогов оленей северных Y при $X_6=2$ и $X_9=0,3$

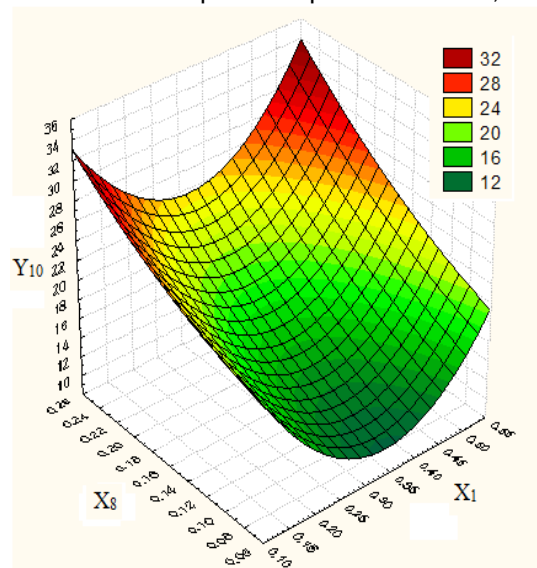


Рисунок 9 - Зависимость изменения мощности машины для резки и измельчения рогов оленей северных Y_{10} при $X_6=4$ и $X_9=0,9$

Анализ графика зависимости мощности (Y) опытно-экспериментальной машиной для резки и измельчения рогов оленей северных от скорости дискового режущего аппарата (X_1), толщины нарезанных дисков из рогов оленей северных (X_6), скорости измельчающего шнека (X_8), зазора между корпусом и самим шнеком (X_9) представлено в таблице 1.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ РОГОВ ОЛЕНЕЙ СЕВЕРНЫХ

щего 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 толщине нарезанных заготовок равной 2 мм и зазоре между корпусом измельчающего шнека и самим измельчающим шнеком равным 0,3 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. 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.
2. Невзоров, В.Н. Технология и оборудование для переработки растительного и животноводческого сырья в арктических и северных территориях сибиря / В.Н. Невзоров, Е.Н. Кожухарь, В.Н. Тепляшин, Ш.Н. Акимов // Концепция устойчивого развития науки третьего тысячелетия: сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции. - Санкт-Петербург: Изд-во «КультИнформПресс», 2016. - С. 56-59.
3. Невзоров, В.Н. Экспериментальные исследования по определению силы резания рогов домашнего северного оленя Эвенкийской породы / В.Н. Невзоров, Н.А. Дроздова, В.Н. Тепляшин // Инновации в науке и образовании: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лы Всерос. очно-заочной науч.-практ. и науч.-метод. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Инновации в научно-практической деятельности / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2010. - С. 106–111.
4. Невзоров, В.Н. Инновационные проекты для переработки животноводческого и растительного сырья в Эвенкийском муниципальном районе Красноярского края / В.Н. Невзоров, В.Н. Тепляшин, И.В. Мвцкевич, Д.В. Салыхов, Е.Н. Кожухарь // Материалы международной научно-практической конференции «Социально-экономические и экологические аспекты развития регионов и муниципальных образований: проблемы и пути их решения». 31 марта 2016 г. Москва. - С. 215-223.
5. 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.
6. Тепляшин, В.Н. Методика экспериментальных работ по определению температурных показателей дисковой пилы при резании пантов / В.Н. Тепляшин, В.Н. Невзоров, Н.А. Дроздова // Инновации в науке и образовании: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лы Всерос. очно-заочной науч.-практ. и науч.-метод. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Инновации в научно-практической деятельности / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2011. - С. 13 – 16.
7. 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.
8. Тепляшин, В.Н. Разработка технологии и средств механизации переработки рогов оленей северных / В.Н. Тепляшин, В.Н. Невзоров // Ресурсосберегающие технологии механизации сельского хозяйства: прил. к «Вестнику КрасГАУ»: сб. науч. ст. Вып. 10 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2015. - С. 78–80.
9. Тепляшин, В.Н. Оптимизация энергоемкости машины для переработки рогов оленей северных / В.Н. Тепляшин, В.Н. Невзоров, И.В. Мацкевич // Международные научные исследования, №2 (31), Москва, 2017 г. – С. 328-333.
10. 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.

Тепляшин Василий Николаевич, старший преподаватель кафедры «Технология, оборудование бродильных и пищевых производств», Красноярский Государственный Аграрный Университет, e-mail: terlyshinvn@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

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