

На правах рукописи

СТУПИН ИГОРЬ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ДЛЯ ПРИГО-
ТОВЛЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ ИЗ ХВОЙНОЙ ЛАПКИ**

Специальность 05.20.01 – технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Киров – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Вятская государственная сельскохозяйственная академия».

Научный руководитель: **Баранов Николай Федотович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», профессор кафедры эксплуатации и ремонта МТП.

Официальные оппоненты: **Зиганшин Булат Гусманович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный аграрный университет», заведующий кафедрой «Машины и оборудование в агробизнесе»;

Казаков Владимир Аркадьевич, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», старший научный сотрудник отдела механизации.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия».

Защита состоится 03 февраля 2017 года в 13 часов 00 минут на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 006.048.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» по адресу: 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166 а, ауд. 426.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» и на официальном сайте института: niish-sv.narod.ru.

Автореферат разослан __ декабря 2016 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

Глушков Андрей Леонидович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования. Современное состояние сельскохозяйственного производства характеризуется достаточно стабильными показателями животноводства в передовых хозяйствах. Однако хозяйства многих регионов России имеют низкие показатели по ряду причин, одной из которых является недостаточный уровень обеспеченности качественными кормами и несбалансированность рационов по основным питательным веществам.

Основным резервом повышения эффективности животноводства является совершенствование уровня кормления и снижение себестоимости продукции за счет рационального использования кормовых ресурсов, обладающих высоким содержанием витаминов, протеина, углеводов.

Восполнить недостаток питательных веществ в зимний период содержания животных можно за счет кормовых ресурсов леса. Фитомасса леса, как возобновляемый, экологически чистый и практически неисчерпаемый источник энергии и питательных веществ все больше привлекает внимание отечественной и зарубежной науки.

Кормовые добавки из древесной зелени, по прогнозам отечественной и зарубежной науки, займут в будущем определенный удельный вес в кормовом балансе животноводства.

Проблема использования кормовых добавок из ресурсов леса, успешно решается многими развитыми странами даже в условиях перепроизводства обычных кормов. К числу таких стран относятся Австралия, Англия, Канада, Норвегия, США, Финляндия, Швеция, Япония и др.

В России накоплен определенный опыт использования древесной зелени в качестве витаминной кормовой добавки к традиционным кормам преимущественно в зимний период.

Проведенный анализ научно-технической литературы показывает, что промышленностью практически не производятся машины для измельчения древесной зелени. Переработку ведут либо на универсальных измельчителях, применяемых в сельскохозяйственном производстве, либо с помощью рубительных машин, после которых требуется доизмельчение молотковыми дробилками.

Поэтому создание измельчителя хвойной лапки является актуальной задачей.

Цель и задачи исследования. Целью работы является обоснование и оптимизация конструктивно-технологических параметров измельчителя хвойной лапки для приготовления кормовой добавки.

В соответствии с целью поставлены следующие задачи научных исследований:

- 1) разработать конструктивно-технологические схемы измельчителей с дисковым и комбинированным режущими аппаратами;
- 2) теоретически обосновать конструктивно-технологические параметры режущих аппаратов измельчителей хвойной лапки;

3) получить математические модели рабочего процесса измельчения материала режущими аппаратами;

4) оптимизировать основные режимы работы измельчителей, обеспечивающие получение готового продукта с наименьшими энергозатратами при высокой пропускной способности;

5) оценить технико-экономическую и энергетическую эффективность использования разработанных измельчителей.

Объект исследований – рабочий процесс и конструктивно-технологические параметры измельчителей хвойной лапки с дисковым и комбинированным режущими аппаратами.

Научную новизну работы составляют:

- конструктивно-технологические схемы измельчителей с дисковым и комбинированным режущими аппаратами;
- аналитические зависимости для обоснования конструктивных параметров режущего аппарата, определения силы затягивания материала ножами режущего аппарата;
- математические модели влияния конструктивно-технологических факторов на показатели рабочего процесса, позволяющие определить их оптимальное значение.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- аналитические зависимости и математические модели рабочего процесса позволяют определять оптимальные значения конструктивно-технологических параметров режущего аппарата;
- измельчитель с комбинированным режущим аппаратом позволяет увеличить пропускную способность по сравнению с дисковым на 25%.

Результаты исследований используются предприятиями ООО "Котельнический механический завод" Кировская область и ЗАО "Арзамасская Сельхозтехника - Регион" Нижегородская область при освоении серийного выпуска измельчителей хвойной лапки.

Методология и методы исследований. В качестве объектов исследования выбраны рабочий процесс и конструктивно-технологические параметры измельчителей хвойной лапки с дисковым и комбинированным режущими аппаратами.

При выполнении диссертационной работы использованы стандартные и частные методики с применением математического моделирования, сертифицированных приборов и современной вычислительной техники с пакетом программ для обработки результатов экспериментов.

Положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологические схемы измельчителей с дисковыми и комбинированным режущими аппаратами;
- аналитические зависимости и математические модели рабочего процесса, позволяющие определить оптимальные значения конструктивно-технологических параметров режущего аппарата;

- технико-экономическая и энергетическая эффективность использования измельчителей.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность основных выводов в заключении подтверждена результатами теоретических и экспериментальных исследований, положительными результатами использования измельчителей хвойной лапки в хозяйственных условиях.

Основные положения диссертационной работы доложены на: VI, VII и VIII Международных научно-практических конференциях «Наука-Технология-Ресурсосбережение» Вятской ГСХА (Киров, 2013–2016 гг.); научных конференциях молодых ученых, аспирантов и соискателей Вятской ГСХА (Киров, 2013–2016 гг.); Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию создания кафедры «Ремонт машин и технология конструкционных материалов» (Чебоксары, 2014 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Современное состояние прикладной науки в области механизации и энергетики» (Чебоксары, 2016 г.).

Научные исследования выполнены на кафедре эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО "Вятская ГСХА" в соответствии с планом научно-исследовательских работ по теме: "Совершенствование технологических процессов и повышение надежности машин в животноводстве" (номер государственной регистрации 01.2.006 09913).

По основным положениям диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 2 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и получен патент РФ на изобретение.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и степень разработанности темы исследования, сформулированы цель и задачи исследований, обозначены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе «Состояние вопроса и задачи исследований» проанализированы объемы и питательность кормовых ресурсов леса, использование древесной зелени в животноводстве, зоотехнические требования к измельчению хвойной лапки, выполнен обзор способов и машин для заготовки и измельчения хвойной лапки, а также машин для измельчения растительных материалов, поставлены задачи исследований.

Первые работы, посвященные теоретическому и экспериментальному изучению процессов резания растительных материалов, принадлежат основоположникам земледельческой механики академикам В.П. Горячкину и В.А. Желиговскому. Технология приготовления кормов нашла свое дальнейшее развитие в исследованиях Т.А. Абилжанова, В.Р. Алешкина, А.А. Артюшина, Н.Ф. Баранова, Н.А. Барсова, В.А. Голикова, А.И. Завражнова, Б.Г. Зиганшина, В.Г. Кобы, Г.М. Кукты, С.В. Мельникова, В.Г. Мохнаткина, Н.И. Ревенко, Н.Е. Резника, П.М. Рощина, П.А. Савиных, В.И. Сыроватки, В.А. Сысуева, В.И. Стяжкина и многих других ученых.

Вопросами резания и измельчения древесины и хвойной зелени занимались многие исследователи: Аввакумов М.В., Вальщиков Н.М., Воскресенский

С.А., Гаузе А.А., Герасимович А.О., Гомонай М.В., Гончаров В.Н., Ивановский А.А., Качелкин Л.И., Коперин Ф.И., Коробов В.В., Михайлов Г.М., Рушнов Н.П., Черезова В.М., Ягодин В.И. и другие.

Анализ исследований по поставленной проблеме позволил наметить пути дальнейшего повышения эффективности измельчения хвойной лапки.

Во втором разделе «Теоретические исследования по совершенствованию рабочего процесса измельчителя хвойной лапки» проведены теоретические исследования по обоснованию конструктивных параметров измельчителя хвойной лапки (рисунок 1).

Принцип наклонного или скользящего резания в большинстве ножевых режущих аппаратов с прямым лезвием достигается смещением линии лезвия ножа от радиального положения на величину вылета ρ (рисунок 1а). Эффект резания со скольжением определяется угловыми характеристиками режущей пары и выражается коэффициентом скольжения μ , равным:

$$\mu = \frac{\operatorname{tg}\chi + \operatorname{tg}(\tau - \chi)}{1 - \operatorname{tg}\chi \cdot \operatorname{tg}(\tau - \chi)}, \quad (1)$$

где τ – угол скольжения, образованный линией лезвия ножа и радиус-вектором в рассматриваемой точке;

χ – угол защемления материала ножом и противорезущей пластиной.

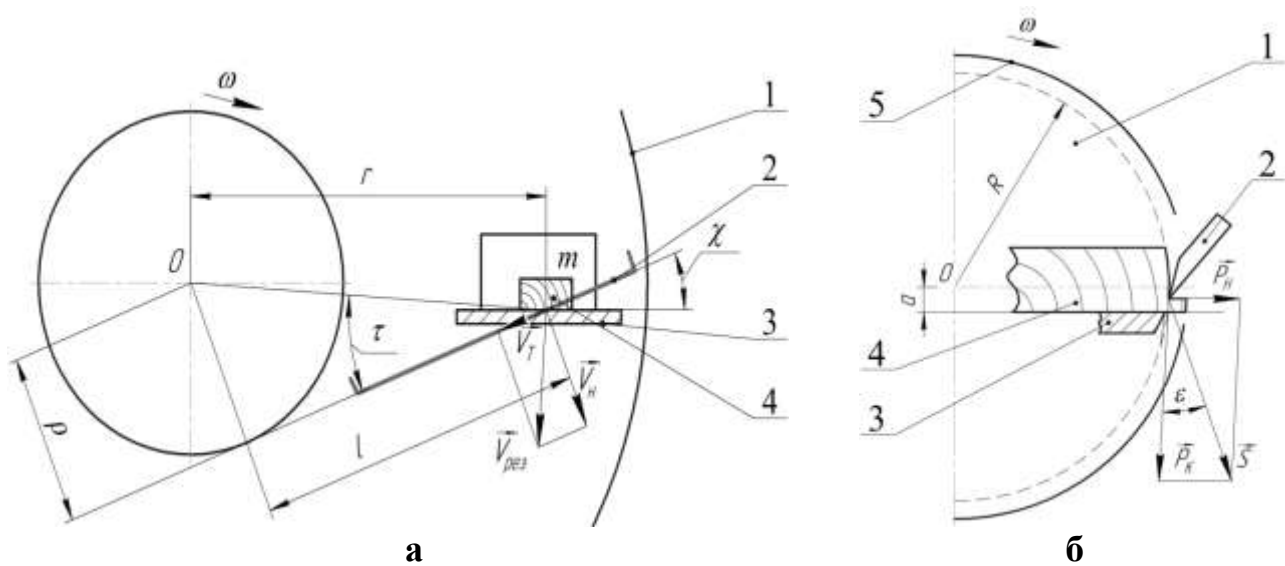


Рисунок 1 – Схемы режущих аппаратов: а – дискового; б – барабанного: 1-диск; 2 – нож; 3 – противорезущая пластина; 4 – материал; 5 – барабан

Коэффициента скольжения также зависит от параметров a и ρ , определяющих геометрию режущей пары

$$\mu = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{a^2}{\sin^2(\tau - \chi)} - \rho^2}}. \quad (2)$$

Решая выражение (2) относительно ρ , получим

$$\rho = \frac{\mu \cdot a}{\sqrt{(1 + \varepsilon^2) \cdot \sin^2(\tau - \chi)}}. \quad (3)$$

Для оптимального значения μ и заданной величины a по выражению (3) рассчитывается основной параметр режущего аппарата ρ - величина смещения лезвия ножа от радиального положения. Для этого необходимо задаться мини-

мальным и максимальным значениями радиуса r резания, чтобы $\mu_{\text{опт}}$ соответствовало среднему значению радиус-вектора.

Создание режущего аппарата с комбинированным рабочим органом, совмещающим признаки дисковых и барабанных устройств в виде одной сборочной единицы накладывает дополнительные ограничения по расположению противореза относительно оси вращения рабочего органа (рисунок 1б).

Параметр a для барабанного режущего аппарата с подачей материала внутрь барабана задается выражением

$$a \leq R_{\text{рез}} \cdot \sin(\varepsilon - \arctg f_{\text{тр}}), \quad (4)$$

где R - радиус резания;

ε - угол между силой резания S и ее тангенциальной составляющей P_K ;

$f_{\text{тр}}$ - коэффициент трения материала по стали.

Схема внешних сил, действующих на материал от передней грани ножа барабана, показана на рисунке 2. Суммарная сила S в точке резания A определяется составляющими: нормальной P_N , направленной по радиусу окружности резания, и тангенциальной P_K - касательно к окружности. Для определения силы воздействия ножа в направлении подачи материала силу S представим парой сил, одна из которых $P_{\text{и}}$ действует в направлении подачи является силой затягивания, вторая $P_{1\text{и}}$ - перпендикулярная к ней. Значение силы затягивания должно быть достаточным для преодоления суммы сил трения $F_{\text{тр}}$, одну из которых определяет реакция противорезающей пластины N .

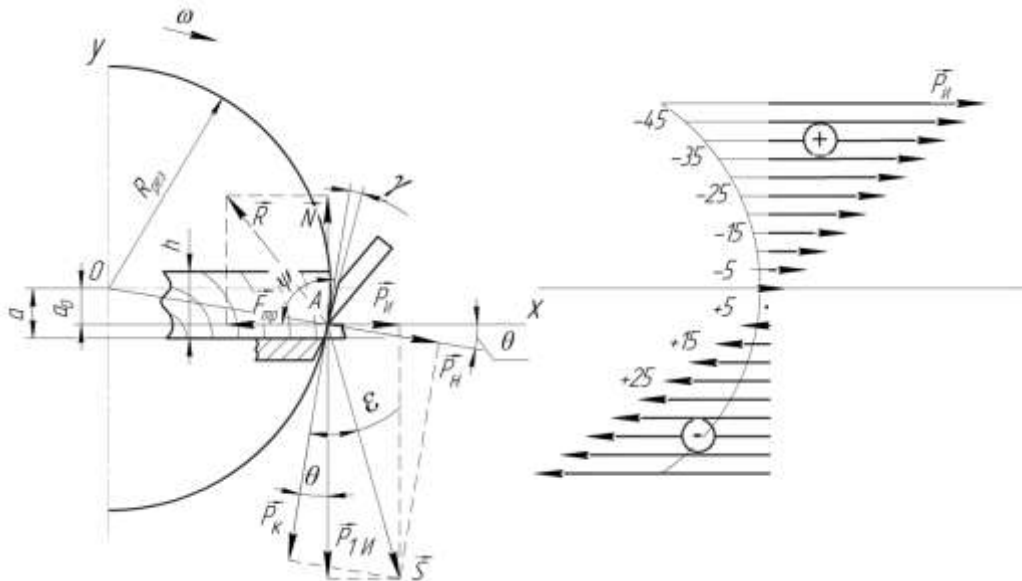


Рисунок 2 - Схема сил взаимодействия ножа с материалом и эпюра силы затягивания $P_{\text{и}}$.

В начальный момент резания, когда лезвие ножа расположено выше горизонтальной оси барабана, угол встречи $\psi < 90^\circ$. В проекциях на ось x сил, действующих на материал (рисунок 2), получим уравнение для определения силы затягивания:

$$P_{\text{и}} = P_K \cdot \cos \psi - F_{\text{тр}} + P_N \cdot \cos \theta, \quad (5)$$

где ψ - угол встречи (между вектором линейной скорости ножа на входе в материал и направлением подачи);

θ - угол между направлением подачи материала и нормальной составляющей P_n силы резания.

Выразив P_k и P_n через силу S и угол ε , получим:

$$P_{ni} = S \cdot [\sin(\varepsilon + \theta) - f_{тр} \cdot \cos(\varepsilon + \theta)] \quad (6)$$

где ε - угол между направлениями силы резания S и тангенциальной составляющей P_k .

При $\psi > 90^\circ$ получаем уравнение:

$$P_{ni} = -P_k \cdot \cos(180^\circ - \psi) - F_{тр} + P_n \cdot \cos \theta, \quad (7)$$

которое в результате преобразований запишется:

$$P_{ni} = S \cdot [\sin(\varepsilon - \theta) - f_{тр} \cdot \cos(\varepsilon - \theta)]. \quad (8)$$

Получено уравнение для определения силы затягивания, аналогичное выражению (6), но со сменой знака угловых параметров.

Для определения расстояния a_0 от противореза до оси барабана (точка "А" на дуге резания материала, в которой прекращается затягивание) следует решить уравнение (8), приравняв его к нулю.

$$P_{ni} = 0 \text{ при } \sin(\varepsilon - \theta) - f_{тр} \cdot \cos(\varepsilon - \theta) = 0.$$

Тогда $(\varepsilon - \theta) = \text{arctg } f_{тр}$.

Исходя из известных значений удельной силы резания $P_{рез.уд.}$, можно вычислить величину составляющей P_{ni} для различных положений ножа относительно горизонтальной оси барабана при заданной толщине слоя материала и представить результаты в виде эпюры (рисунок 2).

Характер изменения силы затягивания P_{ni} показывает, что наиболее предпочтительным является зона подачи материала выше оси вращения барабана. Это позволяет организовать подвод сырья к ножам измельчителя без подающего механизма.

Разработана номограмма (рисунок 3), позволяющая определить положение противореза относительно горизонтальной оси диска режущего аппарата (параметр a) и величину смещения ножа от радиального положения (параметр ρ) для различных значений среднего радиуса резания r при оптимальном значении коэффициента скольжения μ .

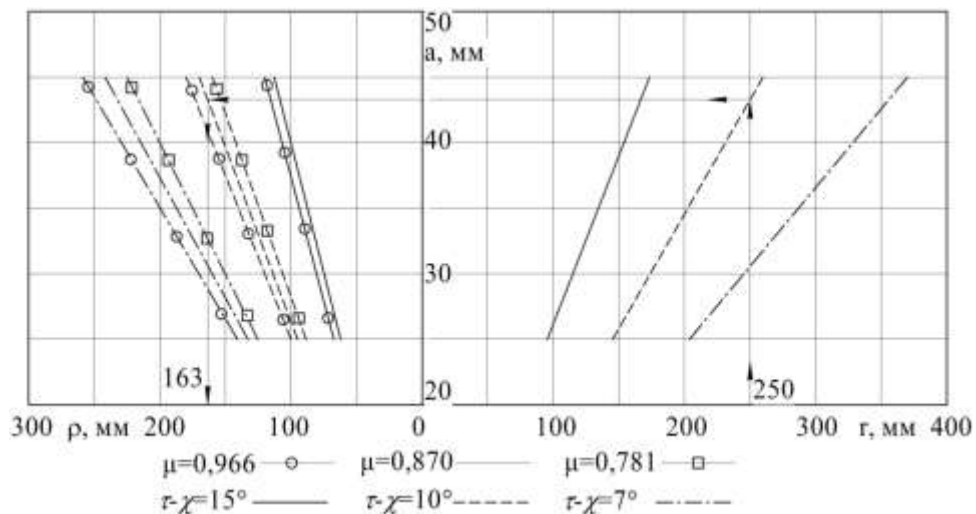


Рисунок 3 - Номограмма для определения параметров a и ρ комбинированного режущего аппарата

При исследовании взаимодействия ножа с материалом полагаем, что реакции всех поверхностей ножа, материала и противорежущей пластины могут быть представлены нормальными и касательными составляющими, связанными законом трения Кулона. Направление всех сил и их проекции на оси координат представлены на рисунке 4.

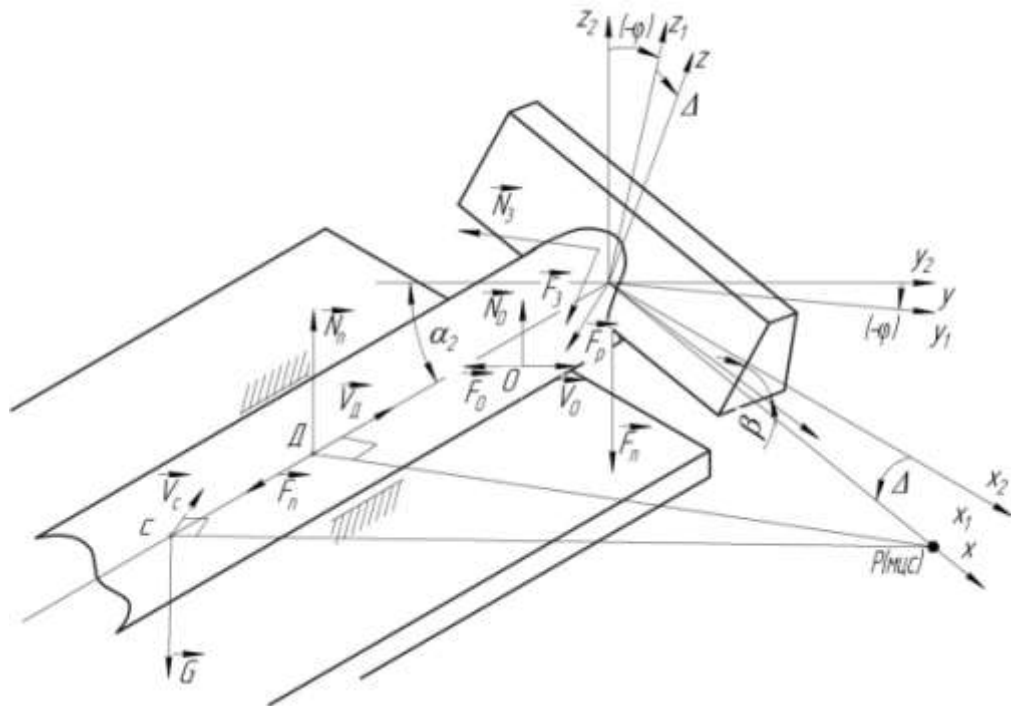


Рисунок 4 - Схема сил, приложенных к измельчаемому элементу

Сила \vec{N}_p – действует со стороны передней режущей грани ножа и является нормальной по направлению к этой грани. Направим ось x вдоль лезвия ножа; ось y – по радиусу режущего барабана, проведенного через точку приложения \vec{N}_p перпендикулярно оси x . Ось z перпендикулярна плоскости (xy) , так что (xyz) образуют правую тройку осей координат.

Общее уравнение динамики в виде суммы возможных мощностей всех сил на действительном перемещении в направлении подачи материала запишется:

$$\vec{\Phi}_c \cdot \vec{V}_c + \vec{F}_n \cdot \vec{V}_d + \vec{N}_p \cdot \vec{V}_o + \vec{F}_p \cdot \vec{V}_o + \vec{F}_n \cdot \vec{V}_o + \vec{F}_o \cdot \vec{V}_o + \vec{N}_3 \cdot \vec{V}_o + \vec{F}_3 \cdot \vec{V}_o = 0. \quad (9)$$

где $\vec{\Phi}_c$ – главный вектор сил инерции; \vec{V}_c – скорость центра масс; \vec{F}_n – сила трения в загрузочной горловине; \vec{V}_d – скорость точки, находящейся в горловине; \vec{N}_p – сила нормального давления передней грани ножа; \vec{V}_o – скорость материала; \vec{F}_p – сила трения о переднюю грань; \vec{F}_o – сила трения о пластину; \vec{N}_3 – сила нормального давления задней грани ножа; \vec{F}_3 – сила трения о заднюю грань.

Скорости определяются из кинематики плоского движения.

Представим расчет силы нормального давления передней грани ножа \vec{N}_p на материал:

$$\begin{cases} N_{px2} = -N_p \cdot \sin(\gamma + \beta) \cdot \sin \Delta \\ N_{py2} = N_p \cdot \cos(\gamma + \beta) \cdot \cos \varphi + N_p \cdot \sin(\gamma + \beta) \cdot \cos \Delta \cdot \sin \varphi \\ N_{pz2} = N_p \cdot \cos(\gamma + \beta) \cdot \sin \varphi - N_p \cdot \sin(\gamma + \beta) \cdot \cos \Delta \cdot \cos \varphi \end{cases} \quad (10)$$

А для задней грани сила нормального давления имеет вид:

$$\begin{cases} N_{zx2} = N_3 \cdot \sin \gamma \cdot \sin \Delta \\ N_{zy2} = -N_3 \cdot \sin \gamma \cdot \cos \varphi - N_3 \cdot \sin \gamma \cdot \cos \Delta \cdot \sin \varphi \\ N_{z2} = -N_3 \cdot \cos \gamma \cdot \sin \varphi + N_3 \cdot \sin \gamma \cdot \cos \Delta \cdot \cos \varphi \end{cases} \quad (11)$$

Аналогично определяются и другие силы с помощью матриц поворота исходной системы координат к осям, в которых эти силы определены по направлению.

Если рассматривать не идеальное лезвие, то необходимо учитывать силу смятия скруглённым лезвием волокон древесины, которая не учтена в составляющих \vec{N}_3 , \vec{F}_3 , \vec{N}_p , \vec{F}_p . Эта сила \vec{F}_n зависит от радиуса закругления лезвия в его поперечном сечении ρ (рис. 2.6) и её значение определяется выражение

$$F_n = \sigma_{см.л} \cdot 2\rho \cdot b \quad (12)$$

где $\sigma_{см.л}$ - предельное напряжение смятия древесины поперёк волокон;

b – ширина срезаемого материала, причём $(2\rho \cdot b)$ – площадь сечения материала в направлении перпендикулярном действию силы \vec{F}_n .

Направление силы \vec{F}_n , определяется нормальной и касательной составляющей к кромке лезвия. При отсутствии скольжения материала вдоль лезвия эта сила направлена по скорости движения ножа в точке контакта \vec{V}_n с материалом, то есть противоположно.

Решая уравнение (9) в среде MathCad относительно N_3 по предварительно вычисленной N_p , определяем наличие эффекта затягивания материала ножом при условии что N_3 положительна, но относительно невелика.

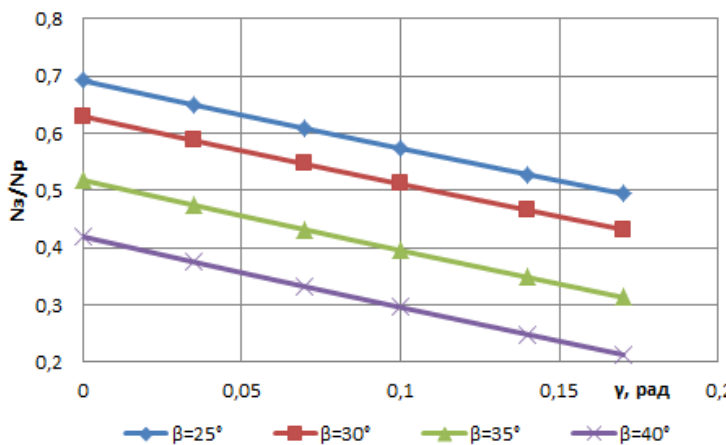


Рисунок 5 - Зависимость отношения N_3/N_p силы нормального давления N_3 задней грани ножа к силе N_p на передней грани ножа от угла затягивания γ

На рисунке 5 представлена зависимость N_3/N_p при заданных параметрах ножа и скорости подачи материала от угла затягивания γ .

С увеличением угла γ при всех исследуемых значениях β (угла заточки) реакция на задней кромке уменьшается относительно силы N_p , причём эта сила остается положительной. Следовательно процесс резания сопровождается эффектом затягивания материала.

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложена программа исследований, представлен перечень приборов, измерительной аппаратуры, описаны экспериментальные установки.

Экспериментальные исследования проведены в соответствии с действующими ГОСТами, общепринятыми и частными методиками испытаний, обеспечивающими получение первичной информации в виде реализации случайных процессов с последующей их обработкой на персональном компьютере с помощью программного приложения Statgraphics Plus 3.0. Гранулометрию готового продукта оценивали по зоотехническим требованиям.

Четвёртый раздел «Результаты экспериментальных исследований рабочего процесса измельчителей» посвящён экспериментальным исследованиям рабочего процесса измельчителей и их анализу.

Разработана конструкция машины (рисунок 6) для измельчения хвойной лапки и других стебельчатых растительных материалов (патент RU2563154). Эффективность процесса измельчения зависит от ряда конструктивных и технологических факторов режущего аппарата, схема которого представлена на рисунке 6.

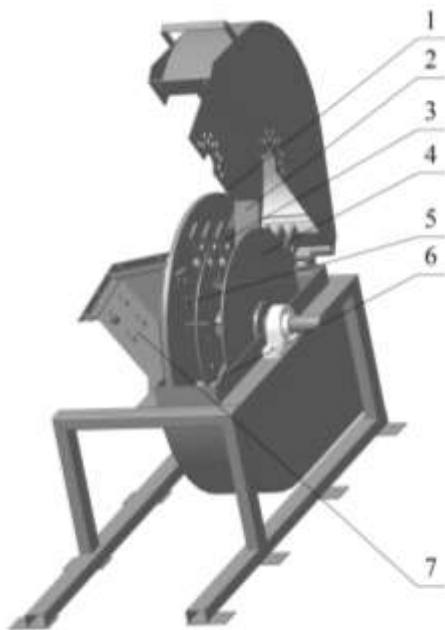


Рисунок 6 – Схема измельчителя:
1-ножевой диск; **2-лопасть ротора;**
3-молоток; **4-покрывающий диск;** **5-нож;**
6-решето; **7-загрузочная горловина**

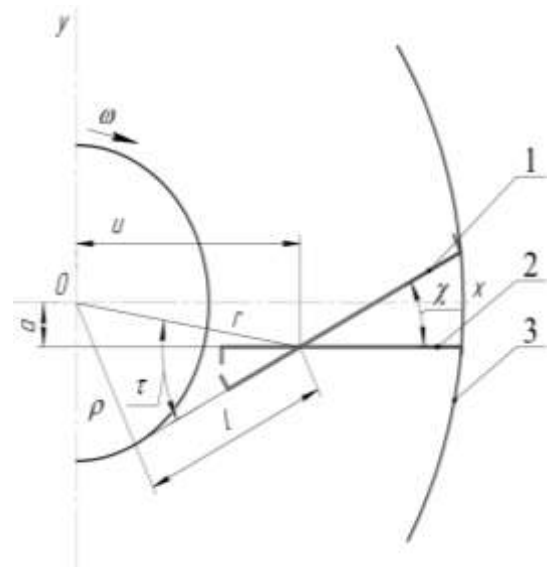


Рисунок 7 - Схема резания со скольжением:
1-нож; **2-противорезущая пластина;**
3-диск

Скорость взаимодействия кромки лезвия ножа с измельчаемым материалом является одним из основных факторов, влияющих на энергоёмкость процесса резания.

Эксперимент по определению оптимальной скорости резания при совместном влиянии угла защемления материала проводили при скоростях резания от 10 до 40 м/с с интервалом 5 м/с в средней части лезвия ножа на радиусе 250 мм. Для стабильности результатов опытов измельчаемым материалом служила древесина сосны в виде брусков сечением 22x22 мм. Сечение бруска выбирали

исходя из вероятности одновременного резания нескольких веток. Бруски подавались в перпендикулярном направлении к плоскости диска режущего аппарата, то есть осуществлялось торцовое резание. Сила резания фиксировалась тензодатчиками (рисунок 11). За счет установки ножа с эксцентриситетом ($\rho=128$ мм) осуществлялось резание со скольжением. В месте контакта ножа с заготовкой обеспечивался угол защемления $\chi=25^\circ$ (рисунок 7).

При исследованиях оставались фиксированными характеристики лезвия (угол заточки, угол передней грани, задний угол), вылет ножа (эксцентриситет) и радиус вектор $r=250$ мм. Эти условия обеспечивали постоянное значение угла скольжения τ .

Анализ результатов исследований показывает, что с увеличением скорости резания от 10 до 35 м/с удельная работа резания уменьшается с 70 до 39,9 кДж/м², а при скорости 40 м/с вновь возрастает до значения 45,3 кДж/м².

При подаче материала перпендикулярно поверхности диска (торцовое резание) минимальные значения силы резания и удельной работы достигаются при скорости резания 32,5 м/с.

Характер изменения силы резания и удельной работы резания от скорости $V_{рез}$ может быть описан уравнениями вида:

$$A_{рез.уд.} = 54,436 + 3,644V_{рез} - 0,245V_{рез}^2 + 0,0037V_{рез}^3, \text{ кДж/м}^2; \quad (13)$$

$$P_{рез.} = 0,7109 + 0,0798V_{рез} - 0,005V_{рез}^2, \text{ кН}. \quad (14)$$

Для оценки влияния на энергоемкость резания скорости резания V , м/с (фактор x_1) и угла защемления χ – (фактор x_2) реализованы матрицы плана второго порядка «на шестиугольнике».

В первой серии опытов температура древесины была положительной, влажность составляла около 10 %. В дальнейшем будем называть ее «сухой древесиной». Во второй серии использовались заготовки влажностью свыше 34% при средней температуре -10°C («мерзлая древесина»).

Фактор x_1 фиксировался на пяти уровнях, фактор x_2 - на трех уровнях. В качестве критериев оптимизации выбраны: y_1 – равнодействующая сил резания, рассчитанных по диаграммам записи сигналов с тензодатчиков $P_{рез.экв.}$; y_2 – удельная работа резания $A_{рез.уд.}$. Показатели энергоемкости резания «сухой древесины» описываются уравнениями (15) и (16), «мерзлой» - (17) и (18):

$$y_1 = 729,2 - 82,5x_1 - 53,6x_2 + 87,8x_1^2 + 23,9x_2^2 - 0,64x_1x_2; \quad (15)$$

$$y_2 = 46,85 - 6,01x_1 - 3,88x_2 + 4,95x_1^2 + 2,26x_2^2 + 0,82x_1x_2; \quad (16)$$

$$y_3 = 721,4 - 135,7x_1 - 153,8x_2 + 138,2x_1^2 + 210,0x_2^2 + 67,4x_1x_2; \quad (17)$$

$$y_4 = 46,36 - 8,72x_1 - 9,87x_2 + 8,88x_1^2 + 13,50x_2^2 + 4,33x_1x_2. \quad (18)$$

Анализ уравнений и двумерного сечения поверхностей отклика (рисунок 8а) показывает, что наименьшее значение эквивалентной силы резания ($P_{рез.экв.}=684$ Н) достигается при скорости резания 29,75 м/с и угле защемления $36,3^\circ$. При значениях факторов $x_1=30$ м/с и $x_2=34^\circ$ достигается наименьшее значение удельной работы резания, равное 43,7 кДж/м².

При измельчении сухой древесины увеличение угла защемления χ с 10 до $30^\circ \dots 38^\circ$ снижает удельную работу резания с 53 до 43,7 кДж/м² (на 17,5%), а при измельчении мерзлой древесины влияние угла защемления проявляется в

большей степени, энергоёмкость снижается на 35,8% (с 67 до 43 кДж/м²). При резании мерзлой древесины оптимальная скорость составляет около 29,7...30 м/с, а угол защемления 29...30° (рисунок 8 б), что не значительно отличается от оптимальных значений исследуемых факторов при измельчении «сухой древесины».

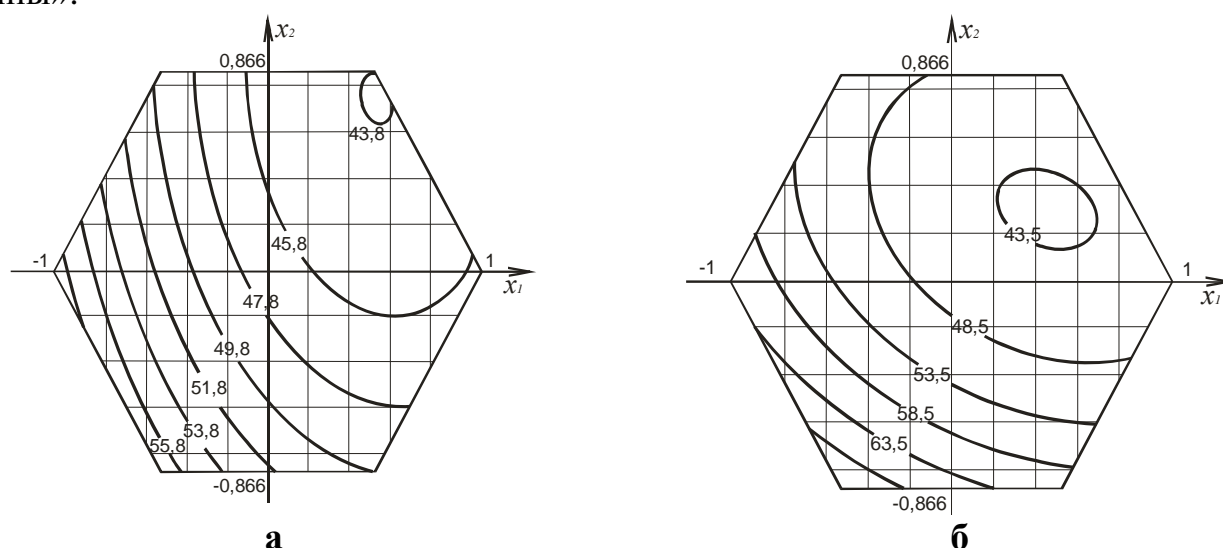


Рисунок 8 - Двумерные сечения, характеризующие влияние скорости резания (фактор x_1) и угла защемления χ (фактор x_2) на удельную работу резания $A_{рез, уд}$, кДж/м²: а – сухая древесина; б – мерзлая древесина

При исследовании энергетических показателей процесса резания ножами барабана реализована матрица плана Бокса-Бенкена. Исследовали влияние следующих факторов: x_1 – направление подачи материала к внутренней поверхности барабана α_γ ; x_2 – угол защемления материала χ , составленный линией лезвия ножа и верхним обрезом противорежущей пластины; x_3 – линейная скорость ножа в точке резания $V_{рез}$.

Уровни варьирования факторов выбраны на основе ранее выполненных однофакторных опытов на экспериментальной установке, схема и общий вид которой показаны на рисунках 9 и 10.

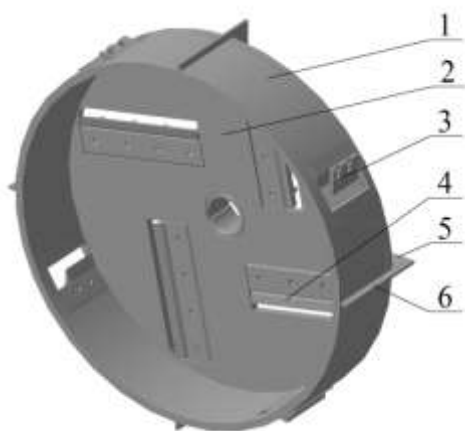


Рисунок 9 - Схема комбинированного режущего аппарата: 1-барабан, 2-диск, 3-нож барабана, 4-нож диска, 5-лопасть; 6-била



Рисунок 10 – Общий вид экспериментальной установки с комбинированным режущим аппаратом

В качестве измельчаемого материала выбраны сосновые бруски сечением 22×22 мм влажностью 14...20%.

Усилие резания передавалось на два тензорезисторные датчика Т2-0,1-С3 (рисунок 11), на которые опиралась противорежущая пластина, расположенная в точке резания ниже горизонтальной оси барабана.

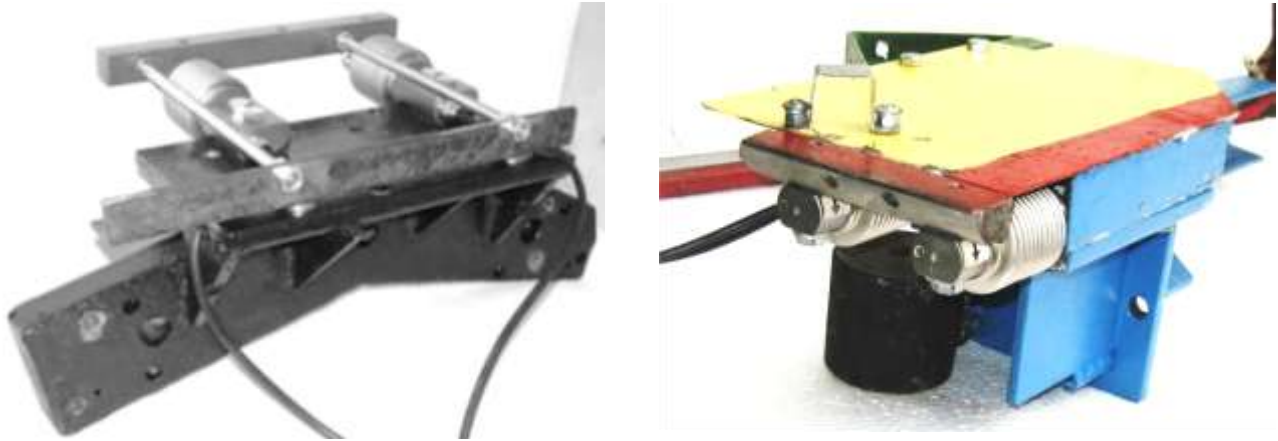


Рисунок 11 – Общий вид устройств для измерения силы резания

По результатам опытов получена адекватная модель регрессии и построены двумерные сечения (рисунок 12):

$$y = 22,33 - 4,990 \cdot x_2 - 4,599 \cdot x_3 + 3,676 \cdot x_1^2 + 4,019 \cdot x_2^2 + 4,821 \cdot x_3^2. \quad (21)$$

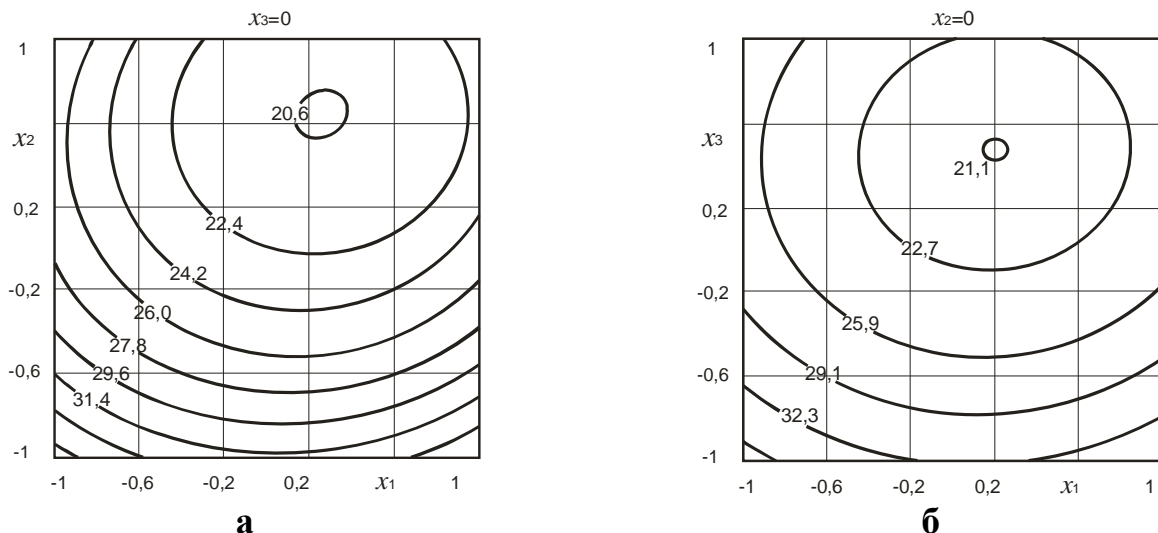


Рисунок 12 - Поверхности отклика, характеризующие влияние направления подачи материала (фактор x_1), угла защемления (фактор x_2) и скорости резания (фактор x_3) на удельную работу резания $A_{рез.уд.}$, кДж/м²

При резании ножами барабана оптимальными значениями факторов являются: угол подачи материала к ножам $\alpha_y=46...48^\circ$; угол защемления материала $\chi=24...25^\circ$; скорость резания $V=36...37$ м/с. При этом удельная работа резания составляет 18,5...19,0 кДж/м².

Воздействие ножей на материал должно быть достаточным для обеспечения процесса самозатягивания при резании. Проведены исследования влияния на силу затягивания материала ножами диска и ножами барабана ряда факторов на экспериментальных установках, позволяющих фиксировать с помощью тензодатчиков воздействие передней грани ножа на материал (рисунок 13).

При изучении дискового режущего аппарата исследовали влияние угла подачи материала к ножевому диску в вертикальной плоскости α_x , в горизонтальной плоскости α_y и угла скользящего резания τ .

Опыты проводились по матрице плана 3^2 на экспериментальной установке, общий вид которой показан на рисунке 13 а.



а



б

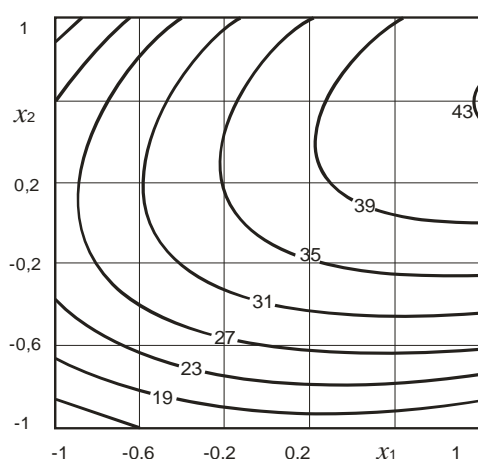
Рисунок 13 – Общий вид экспериментальных установок для определения силы затягивания: а-ножами диска; б-ножами барабана.

Критериями оптимизации выбрана сила затягивания образцов древесины сосны при положительной y_{1P_d} и отрицательной (около -10°C) y_{2P_d} температуре.

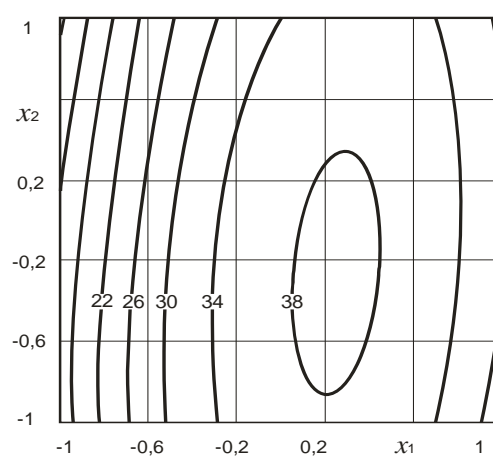
По результатам опытов получены уравнения регрессии и построены двумерные сечения (рисунок 14).

$$y_{1P_d} = 44,67 + 14,36 \cdot x_1 + 7,68 \cdot x_2 - 5,49 \cdot x_1^2 - 4,40 \cdot x_2^2 - 3,74 \cdot x_1 \cdot x_2; \quad (19)$$

$$y_{2P_d} = 33,78 + 9,39 \cdot x_1 + 5,22 \cdot x_2 - 7,20 \cdot x_1^2 - 3,62 \cdot x_2^2. \quad (20)$$



а



б

Рисунок 14 – Двумерные сечения, характеризующие влияние угла подачи материала в вертикальной плоскости α_x (фактор x_1) и угла скользящего резания τ (фактор x_2) на силу затягивания (P_d , Н) при резании ножами диска древесины: а–при положительной температуре; б–при отрицательной температуре

При резании мерзлой древесины значение силы затягивания снижается на 25...30% по сравнению с резанием сухой древесины. При подаче материала под углом $\alpha_x = 29 \dots 45^\circ$ в вертикальной плоскости и разворотом к плоскости резания по горизонтали $\alpha_y = 30 \dots 38^\circ$ оптимальными значениями угла скольжения являются $32..34^\circ$. При этом сила затягивания материала ножами диска достигает 2,73 Н/мм длины нагруженной части лезвия.

Исследования влияния на усилие затягивания материала ножами барабана таких факторов, как: x_1 - угол затягивания γ между задней гранью ножа и направлением резания (рисунок 2), x_2 - расположение противореза относительно оси барабана по высоте (фактор a) и x_3 - угол защемления χ материала проводили по матрице плана Бокса-Бенкена.

Угол затягивания варьировал в пределах $3..9^\circ$ изменением угла заточки ножа. Положение противореза по высоте относительно оси барабана выбирали исходя из теоретических обоснований и эпюры силы затягивания (рисунок 2). Данный фактор изменялся от 0 до 40 мм (ниже оси барабана), причем значение 40 соответствовало уровню (-1), а 0 – уровню (+1). Угол защемления χ материала ножом и противорезущей пластины изменялся от 0 до 30° перестановкой противореза (рисунок 11).

Получена адекватная математическая модель, характеризующая влияние исследуемых факторов на критерии оптимизации и построены двумерные сечения (рисунок 15).

$$P_{\text{зат}} = 36,94 - 2,03 \cdot x_1 + 6,54 \cdot x_3 - 2,52 \cdot x_1^2 - 7,55 \cdot x_2^2 - 3,02 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (22)$$

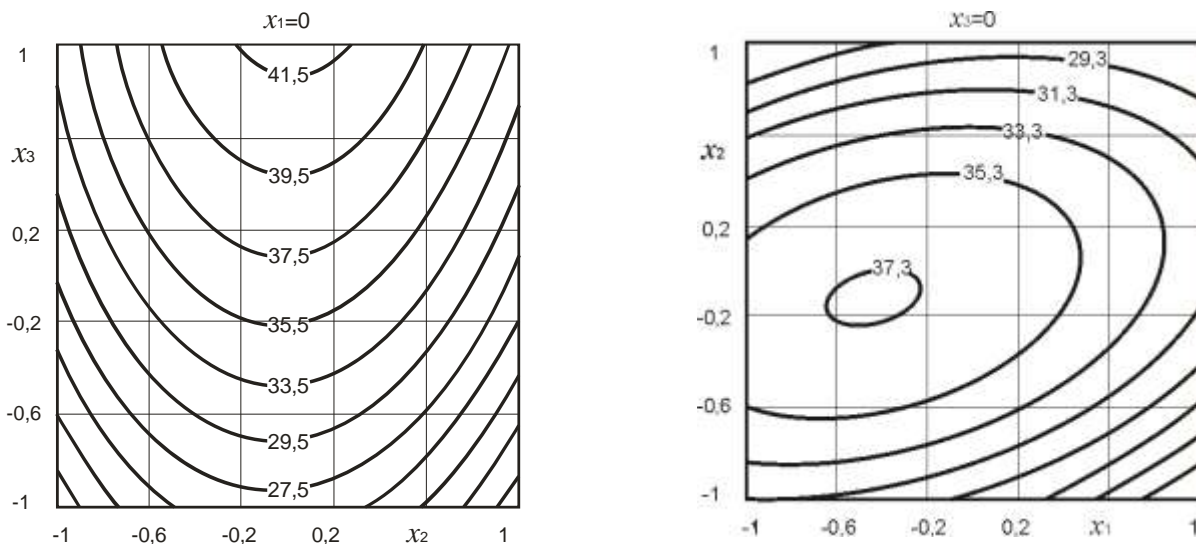


Рисунок 15 - Двумерные сечения, характеризующие влияние факторов угла подачи материала в вертикальной плоскости α_x (фактор x_1) и угла подачи материала в горизонтальной плоскости α_y (фактор x_2) на силу затягивания ($P_{\text{зат}}$, Н) материала ножами барабана

Результаты опытов позволяют сделать вывод, что оптимальными значениями факторов являются: угол затягивания $\gamma = 4,5 \dots 4,8^\circ$; расположение противорезущей пластины ниже горизонтальной оси барабана на 20...21 мм; угол защемления материала $\chi=30^\circ$, при этом удельная сила затягивания составляет 1,7 Н/мм длины нагруженной части лезвия.

Исследование рабочего процесса при переработке хвойной лапки осуществляли в двухступенчатом режиме работы измельчителей. После дискового режущего аппарата материал доизмельчался молотковым рабочим органом, после комбинированного режущего аппарата – билами, установленными на поверхности барабана.

При изучении рабочего процесса измельчителя с дисковым режущим аппаратом исследовали влияние скорости резания (V) и размеров отверстий решет второй ступени измельчения на производительность (Q), крупность готового продукта (d_{cp}) и удельные энергозатраты (P/Q).

В качестве сепарирующей поверхности использовали 4 варианта решет с овальными отверстиями размерами: 14×29, 14×64, 16×29, 16×64 мм. Скорость резания изменялась от 33 до 43 м/с. Режущий аппарат обеспечивал самозатягивание материала, поэтому измельчение вели в режиме ручной подачи.



Рисунок 16 - Общий вид экспериментальной установки

Анализ полученных результатов показывает, что на крупность частиц готового продукта влияние оказывает как размер отверстий решета, так и скорость рабочих органов, способствующих эвакуации материала из зоны измельчения. Наименьшие удельные энергозатраты обеспечивает решето с овальными отверстиями размером 16×29 мм при скорости резания 38 м/с (рисунок 17).

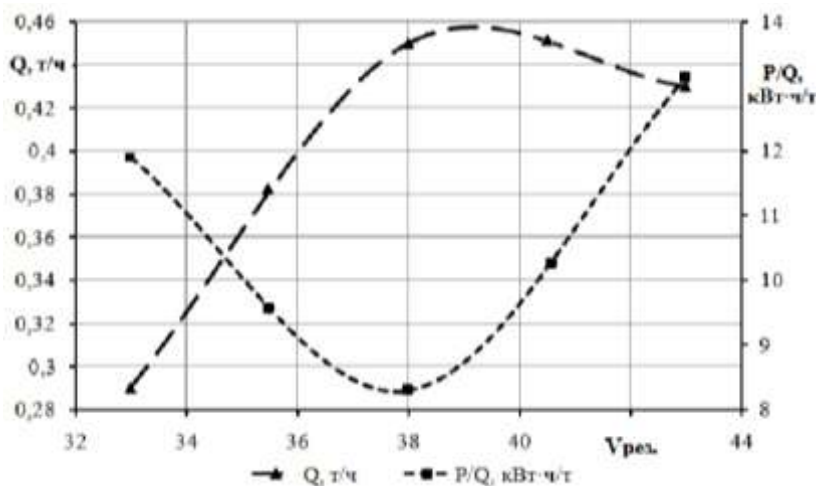


Рисунок 17 - Зависимость производительности Q и удельных энергозатрат P/Q измельчителя от скорости резания при установленном решете с овальными отверстиями размером 16×29 мм

Испытания измельчителя с комбинированным рабочим органом проведены по матрице плана Бокса-Бенкена. Исследуемые факторы, уровни их варьирования и критерии оптимизации представлены в таблице.

Таблица - Матрица плана Бокса-Бенкена и уровни варьирования факторов

Обозначения	Факторы			Критерии оптимизации		
	Диаметр отверстий решета, мм	Скорость резания $V_{рез}$, м/с	Количество бил на барабане n , шт.	Пропускная способность \bar{Q} , т/ч	Удельная мощность $\frac{\bar{P}}{\bar{Q}}$, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	Размер частиц $\bar{d}_{ср}$, мм
Уровни	x_1	x_2	x_3	\bar{y}_1	\bar{y}_2	\bar{y}_3
Верхний (+1)	14	35	12			
Средний (0)	12	32,5	8			
Нижний (-1)	10	30	4			

По результатам опытов получены уравнения регрессии и построены двумерные сечения (рисунок 18).

$$y_Q = 0,6 + 0,022x_1 + 0,039x_2 + 0,03x_3 - 0,048x_1^2 - 0,012x_1x_3 - 0,12x_2^2 + 0,053x_2x_3 - 0,015x_3^2; \quad (23)$$

$$y_{P/Q} = 9,15 + 1,45x_1 - 2,52x_2 + 0,34x_3 + 1,18x_1^2 - 1,65x_1x_2 + 0,51x_1x_3 + 0,97x_2^2 - 2,21x_3^2; \quad (25)$$

$$y_{d_{ср}} = 3,53 - 0,049x_1 + 0,615x_2 + 0,278x_3 - 0,045x_1^2 - 0,127x_1x_2 + 0,125x_1x_3 + 0,322x_2^2 - 0,17x_3^2. \quad (24)$$

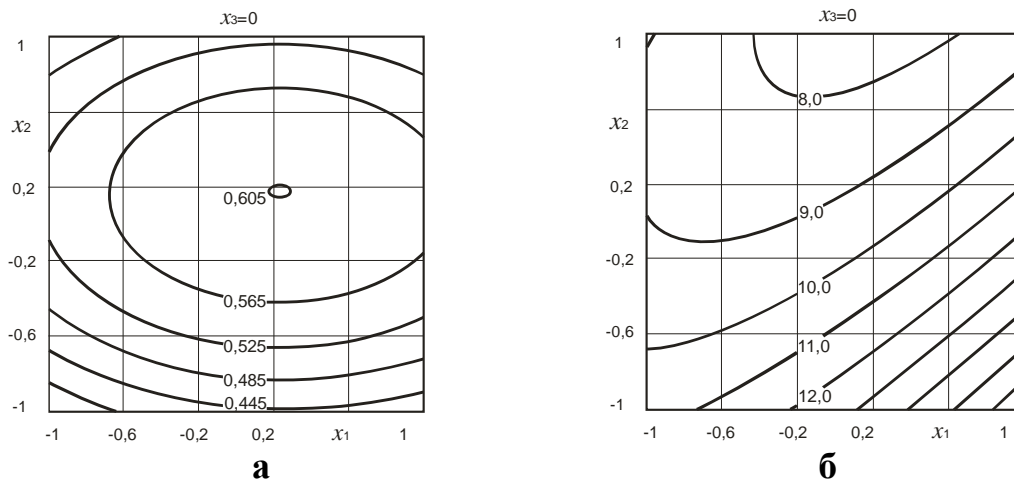


Рисунок 18 - Двумерные сечения, характеризующие влияние диаметра отверстий решета (фактор x_1) и скорости резания (фактор x_2) на пропускную способность Q , кг/ч (а) и удельную энергоёмкость P/Q , кВт·ч/т (б)

Выявлена степень влияния исследуемых конструктивных факторов на показатели рабочего процесса измельчителя и получены их оптимальные значения: скорость измельчения 33 м/с; диаметр отверстий решета 12 мм; количество бил барабана 12 шт. При этом пропускная способность измельчителя составля-

ет 0,606 т/ч; средневзвешенный размер частиц 3,7 мм, а удельные энергозатраты снижены до 7,3 кВт·ч/т, что существенно превосходит показатели аналогов (энергоёмкость КДУ-2 - 90 кВт·ч/т, И-7,5у - 37,5 кВт·ч/т).

В пятом разделе «Технико-экономическая эффективность разработок» приведен анализ эффективности функционирования измельчителей хвойной лапки.

Рассчитанный годовой экономический эффект от применения измельчителя хвойной лапки с комбинированным режущим аппаратом составил 124400 рублей по сравнению с базовым измельчителем И-7,5у. Уровень интенсификации разработанных измельчителей хвойной лапки с дисковым и комбинированным режущими аппаратами в сравнении с универсальным измельчителем И-7,5у равен соответственно 48 и 60%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа литературных источников и классификации технических средств с ножевыми рабочими органами для измельчения растительных материалов разработаны конструктивно-технологические схемы измельчителей хвойной лапки: с дисковым (патент RU 2563154) и с комбинированным режущими аппаратами, позволяющими повысить эффективность процесса измельчения за счет увеличения пропускной способности и снижения удельной энергоёмкости.

2. Аналитические зависимости (3) и (4) позволяют проанализировать влияние основных параметров режущего аппарата с комбинированным рабочим органом: величины смещения линии лезвия ножей диска от радиального положения ρ ; расстояния от оси вращения режущего аппарата до противорезущей пластины, обеспечивающих резание со скольжением и затягиванием материала в зону резания.

Общее уравнение динамического равновесия материала при движении в процессе резания, представленное выражением (9) позволяет определить наличие эффекта затягивания материала ножом по величине реакции на задней грани ножа. С увеличением угла затягивания γ при наиболее предпочтительных значениях угла заточки ножа β реакция на задней грани ножа уменьшается относительно силы резания и сопровождается эффектом затягивания материала.

Для проведения экспериментальных исследований рекомендуется выбрать: $\gamma=3\dots 11^\circ$; $\beta=25\dots 40^\circ$; $\Delta=0\dots 30^\circ$.

3. При «торцовом» резании дисковым режущим аппаратом увеличение скорости обеспечивает снижение энергоёмкости процесса. Минимальные значения силы резания и удельной работы резания достигаются при скорости резания 32,5 м/с, дальнейшее увеличение скорости приводит к увеличению энергоёмкости процесса.

При продольно-торцово-поперечном резании наименьшие значения удельной работы резания, равные 28,9 кДж/м², достигаются при углах подачи материала к ножевому диску в вертикальной плоскости $\alpha_x=45^\circ$, в горизонтальной плоскости $\alpha_y=41\dots 43^\circ$. Наименьшая энергоёмкость резания наблюдается при угле защемления материала $\chi=34^\circ$ и угле скольжения $\tau=41\dots 42^\circ$, при этом

эффективность резания со скольжением в большей степени появляется на сухом материале.

При резании барабанным рабочим органом оптимальными значениями факторов являются: угол подачи материала к нолам $\alpha_y=46\dots48^\circ$; угол защемления материала $\chi=24\dots25^\circ$; скорость резания $V=36\dots37$ м/с. При этом удельная работа резания составляет $18,5\dots19$ кДж/м².

Увеличение влажности материала с 10 до 30% снижает удельную работу резания на 13% (с 32 до 28,7 кДж/м²).

4. В процессе резания ножами диска сила затягивания имеет максимальное значение при подаче материала под углом $\alpha_x=29\dots45^\circ$ в вертикальной плоскости и разворотом к плоскости резания по горизонтали $\alpha_y=30\dots38^\circ$. Оптимальным значением угла скользящего резания является $\tau=32\dots34^\circ$. При этом сила затягивания достигает 2,73 Н/мм длины загруженной части лезвия. При резании мерзлой древесины значение силы затягивания снижается на 25...30%.

Максимальное значение силы затягивания материала ножами барабана наблюдается при расположении противорежущей пластины ниже горизонтальной оси барабана на 20...21 мм, угле защемления $\chi=30^\circ$ и угле затягивания $\gamma=4,5\dots4,8^\circ$. Сила затягивания достигает значения 1,7 Н/мм длины загруженной части лезвия.

5. При измельчении хвойной лапки дисковым режущим аппаратом пропускная способность составляет 0,45 т/ч при удельных энергозатратах 8,29 кВт·ч/т, средневзвешенный размер готового продукта 3,2 мм.

Измельчитель с комбинированным режущим аппаратом обеспечивает пропускную способность 0,6 т/ч при средневзвешенном размере готового продукта 3,7 мм и удельных энергозатратах 7,3 кВт·ч/т.

При использовании измельчителя в безрешетном варианте для измельчения древесины на щепу пропускная способность достигает 3,66 т/ч при установленной мощности привода 18,5 кВт.

6. Рассчитанный годовой экономический эффект от использования измельчителя хвойной лапки с комбинированным режущим аппаратом составил 124400 рублей по сравнению с базовым измельчителем И-7,5у, срок окупаемости затрат – 2,05 года.

Уровень интенсификации разработанных измельчителей хвойной лапки с дисковым и комбинированным режущими аппаратами в сравнении с универсальным измельчителем И-7,5у равен соответственно 48 и 60%.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в повышении эффективности рабочего процесса второй ступени измельчения.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Баранов, Н.Ф. Определение силы затягивания материала ножом рубительной машины / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2015.- Вып. №1. - С.70-75.

2. Баранов, Н.Ф. Обоснование и оптимизация конструктивно-технологических параметров измельчителя для приготовления добавки из хвойной лапки / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Вестник НГИЭИ. – 2016. – Вып. №6 (61). - С.7-16.

Патент РФ

3. Пат. 2563154 Российская Федерация, МПК В27L 11/02 Рубительная машина / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин - №2014124772/13; заявл 17.06.2014; опубл. 20.09.2015; Бюл. №26.

Статьи в сборниках научных трудов

4. Баранов, Н.Ф. Совершенствование конструкции и исследование рабочего процесса двухступенчатой рубительной машины для измельчения отходов деревообработки / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы 6 Между-народ. науч.–практ. конф. "Наука- Технология - Ресурсосбережение": Сб. науч. тр. Киров: ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, 2013. - Вып. 14. - С.167-172.

5. Баранов, Н.Ф. Влияние конструктивных технологических факторов на энергетические показатели рубительной машины / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы 7 Международ. науч.–практ. конф. "Наука - Технология - Ресурсосбережение": Сб. науч. тр. Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2014. - Вып. 15. - С.67-72.

6. Баранов, Н.Ф. Влияние размеров и формы отверстий решет на процесс измельчения древесины рубительной машиной РБ-750 / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы 7 Международ. науч.–практ. конф. "Наука - Технология - Ресурсосбережение": Сб. науч. тр. Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2014. - Вып. 15. - С.72-74.

7. Баранов, Н.Ф. Исследование процесса измельчения мерзлой древесины двухступенчатой рубительной машиной РБ-750 / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы 7 Международ. науч.–практ. конф. "Наука - Технология - Ресурсосбережение": Сб. науч. тр. Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2014. - Вып. 15. - С.74-78.

8. Баранов, Н.Ф. Влияние скорости резания и направления подачи материала на процесс резания древесины рубительной машиной / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы 8 Международ. науч.–практ. конф. "Наука - Технология - Ресурсосбережение": Сб. науч. тр. Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2015. - Вып. 16. - С. 57-60.

9. Баранов, Н.Ф. Влияние скорости резания и углов подачи материала на показатели процесса резания / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы 8 Международ. науч.–практ. конф. "Наука - Технология - Ресурсосбережение": Сб. науч. тр. Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2015. - Вып. 16. - С. 60-64.

10. Баранов, Н.Ф. Влияние угла скольжения на удельную работу резания древесины / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Пермский аграрный вестник. - 2015. - Вып.№2. - С.30-35.

11. Баранов, Н.Ф. Исследование рабочего процесса комбинированного режущего аппарата / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы 9 Международ. науч.–практ. конф. "Наука - Технология - Ресурсосбережение": Сб. науч. тр. - Киров: Вятская ГСХА, 2016. - Вып. 17. - С. 83-87.

12. Баранов, Н.Ф. Обоснование параметров ножевого режущего аппарата / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы 9 Международ. науч.–практ. конф. "Наука - Технология - Ресурсосбережение": Сб. науч. тр. - Киров: Вятская ГСХА, 2016. - Вып. 17. - С. 87-90.

13. Баранов, Н.Ф. Исследование рабочего процесса измельчителя хвойной лапки / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев, И.В. Ступин // Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики: Материалы всероссийской науч.-практ. конф., проводимой в рамках мероприятий, посвященных 85-летию Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. – С.46-54.

14. Ступин, И.В. Исследование рабочего процесса рубительной машины для получения топливной щепы в сельскохозяйственном производстве / И.В. Ступин // Перспективы развития технического сервиса в агропромышленном комплексе: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию создания кафедры «Ремонт машин и технология конструкционных материалов». – Чебоксары: ФГБОУ ВПО ЧГСХА, 2014. – С.131-136.

15. Ступин, И.В. Измельчение хвойной зелени машиной РБ-750 / И.В. Ступин, Л.А. Лопатин, Р.И. Андреев // Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики: Материалы Всероссийской науч.-практ. конф., проводимой в рамках мероприятий, посвященных 85-летию Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. – С.296-303.

16. Ступин, И.В. Влияние линейной скорости ножа на показатели процесса резания древесины / Ступин И.В. // Знания молодых: наука, практика и инновации: Сборник научных трудов XV Международной науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых. В 2ч. Ч.1. Технические и экономические науки. – Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2015. – С.79-83.

17. Ступин, И.В. Рубительные машины для производства топливной щепы / Ступин И.В. // Знания молодых: наука, практика и инновации: Сборник научных трудов XV Международной науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых. В 2ч. Ч.1. Технические и экономические науки. – Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2015. – С.84-86.

Заказ № 239. Подписано к печати «25» ноября 2016 г.
Формат $60 \times 84^{1/16}$ Объем -1 п.л. Тираж 90 экз.
Типография Вятская ГСХА,
610017, Киров, Октябрьский проспект, 133