

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный  
технический университет»

На правах рукописи

Попов Михаил Михайлович

**Разработка математической модели системы образования щепы.**

Направление подготовки  
27.04.04 «Управление в технических системах»

АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ



2017

Работа выполнена в ФГОУ ВО «Комсомольский - на - Амуре  
государственный технический университет»

Научный руководитель

Доктор технических наук, профессор  
Соловьёв Вячеслав Алексеевич

Рецензент

Главный инженер ООО «Одиссей-ДВ»  
кандидат технических наук  
Бакаев Виктор Викторович

Защита состоится 15 июня 2017 года в 09 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Автореферат разослан 11.06.2017

Секретарь ГЭК

С.И.Сухоруков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность.**

Большинство современных рубительных машин выполнены по принципу «кнопка пуск – кнопка стоп». Данные машины не обладают возможностью изменения параметров работы привода в зависимости от качества и типа подаваемого материала и состояния окружающей среды. В работе создана модель учитывающая множество параметров, влияющих на качество выходного материала, проведено сравнение теоретически построенных графиков с реальными данными, снятыми с рубительной машины в процессе ее работы. В дальнейшем на основании данной модели возможно создание управляемого электропривода и дальнейшего ввода его в эксплуатацию на базе измененной стандартной рубительной машины, что позволит добиться качественно нового подхода к процессу образования технологической щепы, уменьшению процента брака на производстве.

**Объект исследования.** Дисковая рубительная машина

**Предмет исследования.** Технологический процесс получения технологической щепы

### **Цель работы.**

- На основании технического процесса разработать математическую модель процесса резания, учитывающую основные параметры режущего устройства;

- По полученному математическому описанию разработать математическую модель;

- Подтвердить адекватность полученной математической модели

**Методы исследования.** Теоретические исследования проводились с использованием математического аппарата современной теории автоматического управления, методов математического моделирования.

При проведении этапов синтеза и моделирования использовался прикладной математический пакет Mathcad.

**Научная новизна работы.** В результате выполнения исследований получены следующие новые результаты:

Разработана математическая модель процесса резания, учитывающая основные параметры режущего устройства.

**Достоверность результатов работы.** Полученные в ходе работы результаты базируются на всестороннем анализе выполненных экспериментов в среде Mathcad. В ходе работы использовались аналитические и экспериментальные методы проверки достоверности результатов.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, содержащих 69 страниц основного текста, 51 рисунков, и список литературы из 25 наименований.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

- Попова В.С. Разработка прогнозирующего модуля образования льда/ В.С.Попова, М.М.Попов // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы докладов 46-й научно-технической конференции, Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУВО «КнАГТУ», 2016, С.250-251

- Попов М.М. Разработка математической модели рубительных машин, направленной на улучшение технических показателей // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы докладов 47-й научно-технической конференции, Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУВО «КнАГТУ», 2017, С.149-150

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность выбранной темы исследования, определяются цели и задачи.

**Первая глава** Рассматриваются современные рубительные машины для производства щепы.

К первой группе машин относится роторная рубительная машина – щепорез. Роторная рубительная машина – оборудование предназначенное для измельчения и утилизации отходов древесины. Оборудование прекрасно решает задачи по переработке вершин стволов, горбыля, сучьев, и других отходов древесины, перерабатывая их в технологическую щепу.

Щепорез имеет возможность оборудоваться двумя типами приводов – механическим или электрическим. Это позволяет использовать оборудование как стационарно, так и мобильно. К двум режущим ножам ротора материал подается самозахватом за счет углового расположения входного бункера. Выход материала осуществляется через вращающийся выходной растроб переменной длины.



Рисунок 1.1 - Роторная рубительная машина

Во втором классе представлены барабанные машины используемые для измельчения сучьев, горбылей, вершин и реек на щепу и снабжены барабаном с ножевыми впадинами в качестве рабочего органа или подножевыми прорезями. В случае с подножевыми прорезями, барабан делают пустотелым.

Барабан снабжают 2-8 ножами, диаметр барабана 0,6-1 м, угловая скорость 60-120 рад/с.

Подача древесины к ротору машины обеспечивается:

- при наклонном патроне - под действием силы тяжести;
- при горизонтальном - при помощи вертикальных и горизонтальных вальцов и гусеничного механизма (ниже оси вращения барабана перпендикулярно к ней или под углом 30-35° размещают горизонтальный патрон). Щепа подается вниз на транспортер, у машин с барабанами, имеющими ножевые впадины. Щепа поступает внутрь его и вентилятором выносится в циклон по трубопроводу, если барабан имеет ножевые прорези.

К третьему классу относятся дисковые рубительные машины используемые для измельчения на щепу круглых и колотых лесоматериалов, горбылей и реек.

Рабочий орган этих машин выполнен в виде плоского или профильного (геликоидального) вращающегося в вертикальной плоскости диска 2, оснащенного ножами 1.

Диаметр ножевого диска напрямую зависит от производительности и сечения измельчаемых отходов лесоматериалов и изменяется от 1 до 3 м, угловая скорость - от 16 до 52 с<sup>-1</sup>, количество ножей на диске - от 3 до 16 штук.

По причине того, что качество получаемой щепы напрямую зависит от количества ножей на диске, рекомендуется принимать количество ножей равным 8-16.

Угол заточки ножей обычно находится в пределах от 30 до 45°.

**Вторая глава** Разрабатывается математическое описание основных процессов рубительных машин.

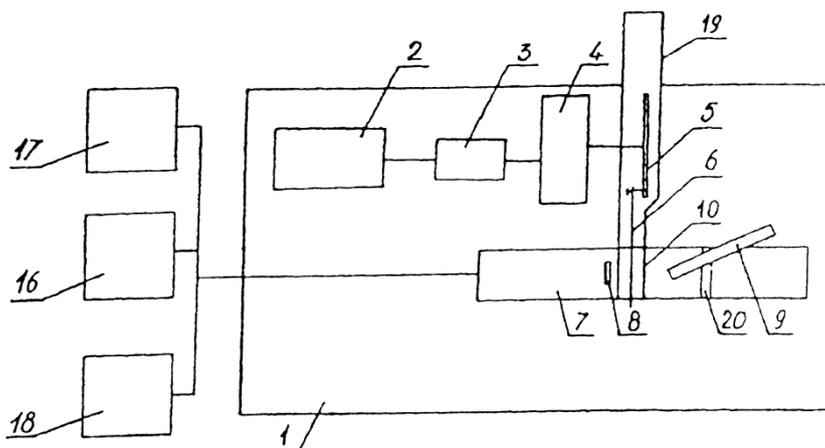


Рисунок 2.8 – Функциональная схема рубительной машины

Рубительная машина для исследования процесса резания древесины содержит раму 1, на которой смонтированы электродвигатель 2, управляемый преобразователь для регулирования скорости резания 3, редуктор 4, ножевой диск 5, установленный с возможностью вращения вокруг своей оси. На ножевом диске жестко закреплен сменный нож 6. На раме также установлен динамометрический стол 7 с передвижным упором 8 и загрузочное устройство 9 с контрножом 10.

Принцип регулирования контрножа показан на рисунках 2.9 и 2.10.

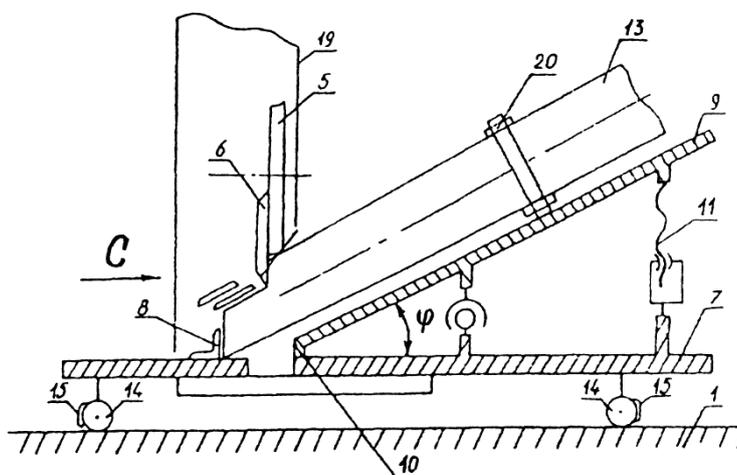


Рисунок 2.9 – Схема загрузки заготовки

Контрнож смонтирован или выполнен заодно с ним на загрузочном устройстве 9, снабженном винтовым устройством регулирования 11 и сменной подставкой 12. Подаваемая заготовка 13 может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных плоскостях по отношению к торцу ножевого диска. Динамометрическое устройство для измерения силы резания  $P$  состоит из жесткого стола 7, установленного на раме 1 с помощью нескольких упругоподатливых элементов 14 с тензометрическими датчиками 15, собранными в электрическую схему, подключенную к приборам (усилителю 16, осциллографу 17 и анализатору сигналов 18).

На столе 7 смонтирован подвижный упор 8 для заготовки 13. Параметрами щепы можно управлять, изменяя расстояние от упора до режущей плоскости ножа. Расстояние от упора до режущей плоскости ножа лимитирует длину щепы.

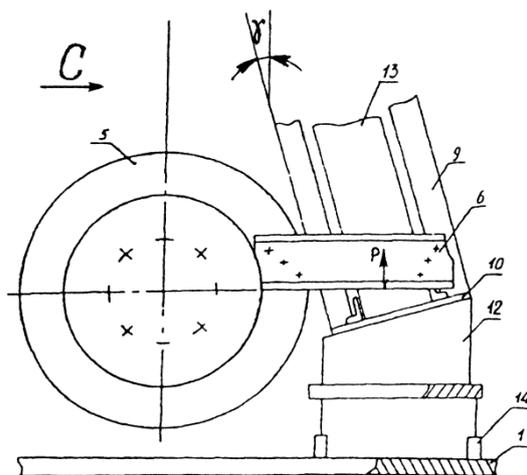


Рисунок 2.10 - Схема регулирования контрножа

Для удобства ведения наблюдения и/или съемки, а также с позиций безопасности, ножевой диск с ножом и зона резания закрыты съемным кожухом 19, выполненным из прозрачного материала. Для одновременного резания нескольких заготовок загрузочное устройство снабжено фиксатором 20, например, хомутом.

Принцип работы рубительной машины, а также контроля и измерения параметров резания следующий. С помощью средств регулирования 11 и 12 задают требуемые углы поворота  $\varphi$  и  $\gamma$  наклона загрузочного устройства. Выставляют положение упора для получения щепы требуемой длины. Загружают заготовку 13. Предварительно выполняется тарировка динамометрического устройства, позволяющая в дальнейшем по электрическому сигналу тензодатчика определять усилие резания.

На ножевой диск 5 устанавливают сменный нож 6 с требуемой геометрией заточки. С помощью системы «преобразователь – двигатель» устанавливают требуемое число оборотов в минуту ножа с ножевым диском. Сдвигают заготовку 13 до упора 8. Включают приборы регистрации силы резания. Включают вращение ножевого диска. Это влечет за собой резание древесины с образованием щепы. Процесс резания и образования щепы можно наблюдать и снимать через прозрачный кожух. Геометрические параметры щепы, степень ее повреждения определяются путем непосредственного измерения и анализа. Результаты измерения и анализа сопоставляются с результатами записи силы резания. На рисунке 2.11 приведен график изменения силы резания в ходе технологического процесса реза щепы.

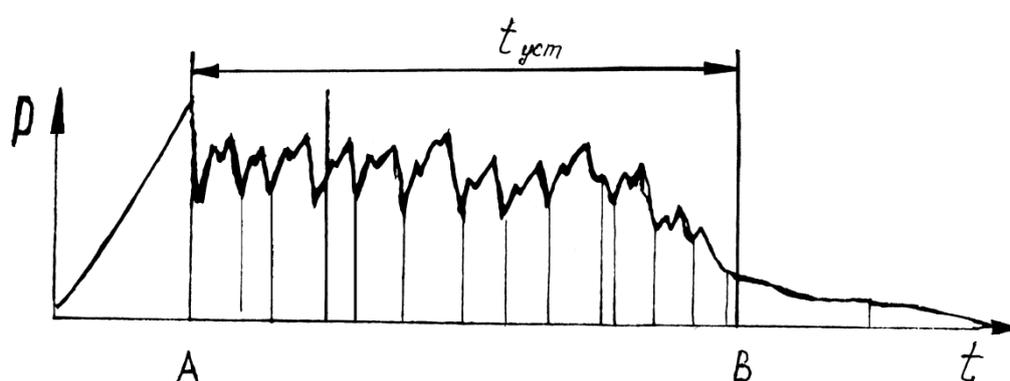


Рисунок 2.11 – График изменения силы резания

**Третья глава** Проводится экспериментальное исследование процесса резания.

На рисунках 3.1,3.2,3.3 изображена математическая модель с помощью которой определяется сила резания

```

t := 0.001, 0.5.. 10

y := ω·R·t1
v = 14.444
Fd := 13453
β := 45·π / 180
φ := 30π / 180
η := 105·π / 180
ε := 15π / 180

V1 := 1/2 · ∫₀¹·⁵ 0.013·0.015 dr1 = 1.462 × 10⁻⁴

Δ := 0,731 × 10⁻⁶ .. 1.462 × 10⁻⁴ h := 0,5.. 30

Fv := 0.7·Fd·V1 + 0.3·Fd·PR1

L(h) := h / (sin(β)·(2.732))

Δl := 0,0776.. 15.529
Kz := 0.2 Kc := 0.5 Ktr := 0.4

F1 := 0.7Fd·15.529 + 0.3Fd·PR2
Fz := (0.2·Fv)
Fc := 0.5·(Fv + F1)
F1c := 0.5·Fv
    
```

Рисунок 3.1 – математическая модель в Mathcad

```

Ftr1 := 0.4·F1c
Ftr2 := 0.4·Fc

CL := 1 + 2·Kc·Ktr·cos(105·π / 180) - 2·Kc·sin(105·π / 180) + Kc²·Ktr² + Kc² = 0.221

CV := 1 + [ 2·Kc·Ktr·[cos(105·π / 180) - cos(45·π / 180) - sin(15·π / 180)·(sin(45·π / 180) + sin(105·π / 180))] ] ... = 0.03

[ + 2·Kc·[sin(β)·sin(η) - sin(ε)·(cos(β) + cos(η))] ]
[ + 2·Kz·(cos(β)·sin(ε) - 2·sin(β)) ]
[ + 2·Kc²·Ktr²·(1 - cos(η + β)) ]
[ + 4·Kc²·Ktr·sin(η + β) ]
[ + 2·Kc²·(1 + cos(η + β)) ]
[ + 2·Kc·Ktr·(-Kz)·sin(η + β) ]
[ + 2·Kc·(-Kz)·(1 + cos(η + β)) ]
[ + Kz² ]
+ (sin(ε))²

Cd := 1

CLV := 2 + [ 2·Kc·Ktr·(2·cos(η) - cos(β) - sin(η)·sin(ε)) ] ... = 0.343
[ + 2·Kc·(sin(β) - 2·sin(η) - cos(β)·sin(ε)) ]
[ + 2·(-Kz)·sin(β) ]
[ + 2·Kc²·Ktr²·(1 - cos(β + η)) ]
[ + 2·Kc²·Ktr·(1/2·sin(2·β) - 1/2·sin(2·η) + sin(β + η) + 2·cos(β)·sin(η)) ]
[ + 2·Kc·(-Ktr)·Kz·(sin(β + η) + sin(η)² + cos(β)² + cos(η + β)) ]
[ + 2·Kc·Kz·(sin(β)·sin(η) - cos(β)²) ]
    
```

Рисунок 3.2 – математическая модель в Mathcad

$$\begin{aligned}
 \text{CVD} &:= 2 \cdot \cos(\beta) + 2 \cdot \sin(\epsilon) \cdot \sin(\beta) + 2 \cdot K_c \cdot K_{tr} \cdot \cos(\eta + \beta) + 2 \cdot K_c - 2 \cdot K_c \cdot K_{tr} - 2 \cdot K_z - 2 \cdot K_c \cdot \sin(\eta + \beta) = 1.134 \\
 \text{CLD} &:= 2 \cdot \cos(\beta) + 2 \cdot K_c \cdot K_{tr} \cdot \cos(\eta + \beta) - 2 \cdot K_c \cdot \sin(\eta) \cdot \cos(\beta) - K_c \cdot \sin(2 \cdot \beta) = -0.115 \\
 FE &:= \sqrt{F_l^2 \cdot CL + F_v^2 \cdot CV + F_d^2 \cdot Cd + F_l \cdot F_v \cdot CLV + F_v \cdot F_d \cdot CVD + F_l \cdot F_d \cdot CLD}
 \end{aligned}$$

Рисунок 3.3 – математическая модель в Mathcad

Во время исследования проведем вычисления с изменением параметров углов заточки режущего ножа и угла «атаки» режущего ножа. Так как угол заточки ножа принято выбирать в диапазоне от 30 до 45 градусов, проведем вычисления от минимума до максимума с шагом в 5 градусов.

Угол заточки ножа = 30 градусов, угол «атаки ножа» = 45 градусов.

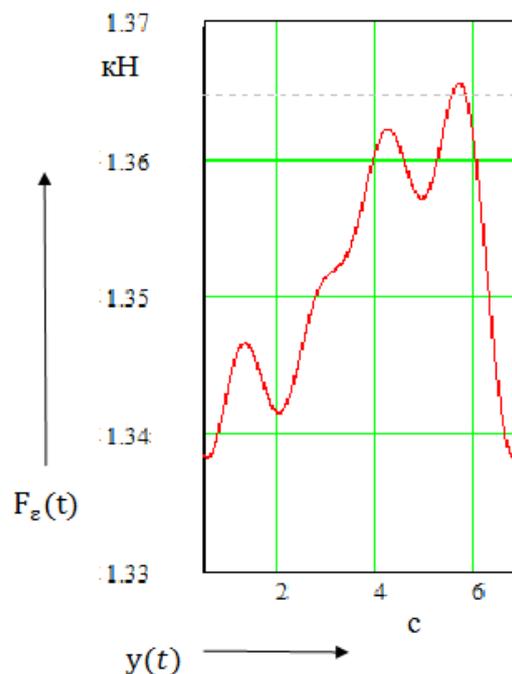


Рисунок 3.4 - Изменение силы резания, за время одного элементарного акта щепообразования.

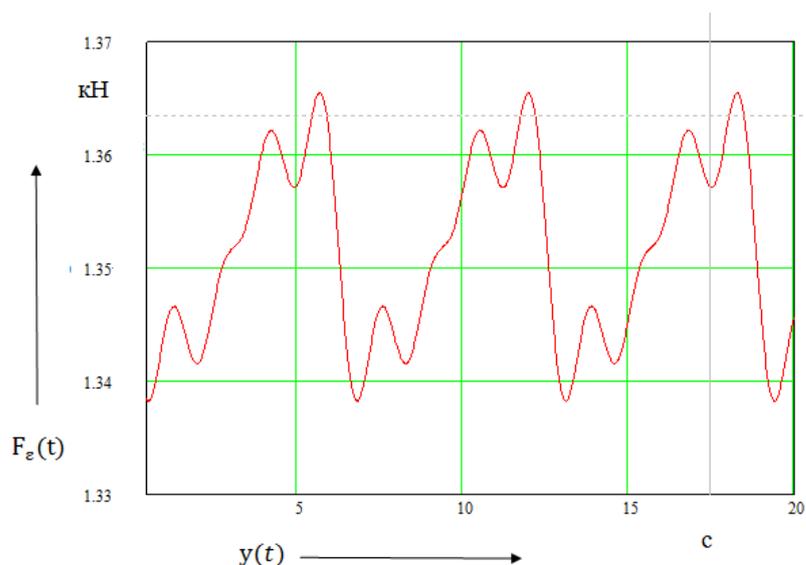


Рисунок 3.5 - Изменение силы резания, полученное по результатам моделирования

**В заключении** вынесены основные выводы по работе.

### ВЫВОДЫ

На основании технического процесса разработана математическая модель процесса резания, учитывающая основные параметры режущего устройства. По полученному мат.описанию разработана математическая модель в среде Mathcad и результаты моделирования подтвердили адекватность получения математической модели.

Результаты исследования математической модели показали, что от угла заточки ножа зависит величина усилия резания. Величина усилия уменьшается пропорционально уменьшению угла заточки. Изменение силы резания существенно влияет на амплитуду силы резания.

На основании результатов моделирования можно констатировать, что необходимо стабилизировать величину силы резания для обеспечения для обеспечения однородности полученной щепы. Это можно осуществить как механическим способом – путем использования махового диска запасящего энергию, так и электромеханическим – при помощи управляемого электропривода с динамическим изменением момента.