

О МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ ДИСКОВОЙ РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНОЙ, ОСНАЩЕННОЙ РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ НОЖЕЙ

Березников С.В., Фокин С.В.

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Саратов, Россия (410012, г. Саратов, Театральная площадь, д. 1), e-mail: feht@mail.ru

Приводится методика исследования процесса резания порубочных остатков дисковой рубительной машиной, оснащенной различными типами ножей. При составлении методики исследований предусматривался общий подход к построению математических моделей процессов переработки древесины в щепу и для расчетов и оптимизации сил и моментов сил резания. При разработке методики процесс резания рассматривается как вращательное движение режущего элемента (ножа) заданной геометрической конфигурации с учетом сил сопротивления в рассматриваемой сплошной среде. В статье ставятся задачи для математического моделирования процесса резания древесины новой конструкцией ножа для оснащения рубительной машины дискового типа и сравнительного анализа его работы с традиционным ножом для рубки древесины. В результате расчетов должны быть получены математические модели, описывающие процессы резания порубочных остатков.

Ключевые слова: механизм резания, комбинированный нож, устройство для измельчения порубочных остатков, порубочные остатки, щепа, дисковые рубительные машины.

ABOUT RESEARCH METHODOLOGY OF CUTTING DISK FOREST RESIDUES CHIPPERS EQUIPPED WITH VARIOUS TYPES OF KNIVES

Bereznikov S.V., Fokin S.V.

¹FGBOU VPO «Saratov State Agrarian University named after N.I Vavilov» Saratov, Russia (410012, Saratov, Theatre Square on 1), e-mail: feht@mail.ru

The methods for studying the process of cutting of forest residues disk chipper equipped with different types of knives. In drawing up the research methodology provides for a general approach to the construction of mathematical models of processed wood into wood chips and for the calculation and optimization of the forces and moments of the cutting forces. In developing the technique cutting process is regarded as rotational movement of the cutting element (blade) of a given geometric configuration to the resistance forces in the given continuous medium. The article raises the problem of mathematical modeling of wood cutting knife new design for equipping the chipper disc type and the comparative analysis of his work with a traditional knife for chopping wood. The calculations must be received by the mathematical model describing the process of cutting of forest residues.

Keywords: cutting mechanism, combined knife, a device for grinding forest residues, forest residues, wood chips, disc chippers.

Для построения методики исследования процесса резания порубочных остатков дисковой рубительной машиной [1; 7], оснащенной различными типами ножей, полагаем, что порубочные остатки, которые измельчаются режущими элементами, представляют собой сплошную среду с заданными характеристиками и свойствами. При этом режущий элемент (нож) может иметь различную форму:

- с тремя лезвиями, расположенными ступенчато и заданными геометрическими параметрами (рисунок 1) [2];
- с одним лезвием и заданными геометрическими параметрами (рисунок 2).

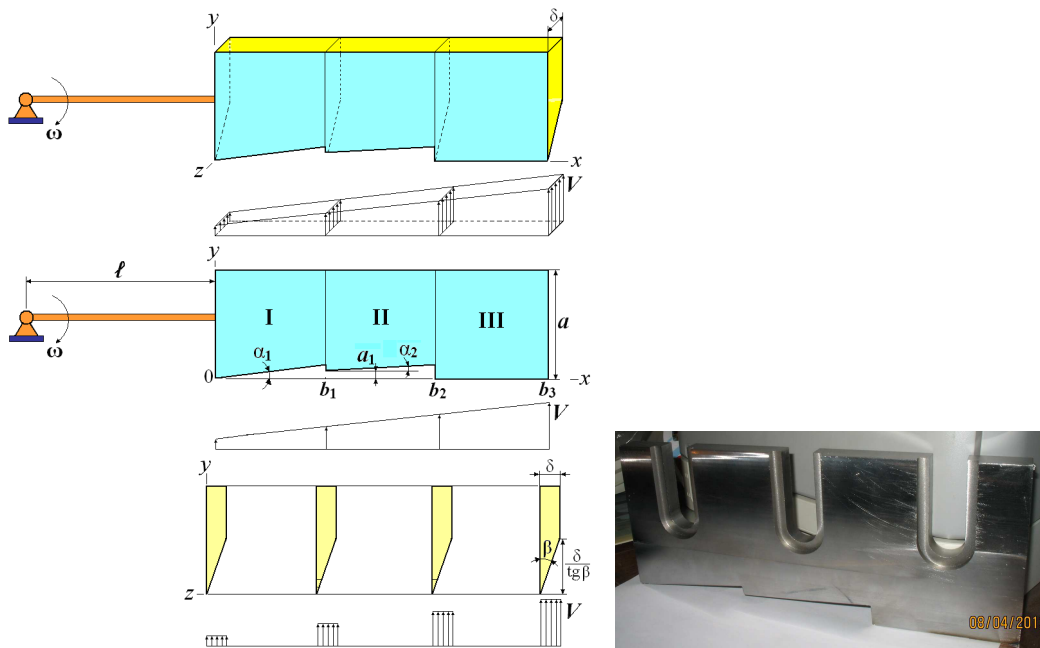


Рисунок 1 - Режущий элемент с тремя лезвиями, расположенными ступенчато - комбинированный нож

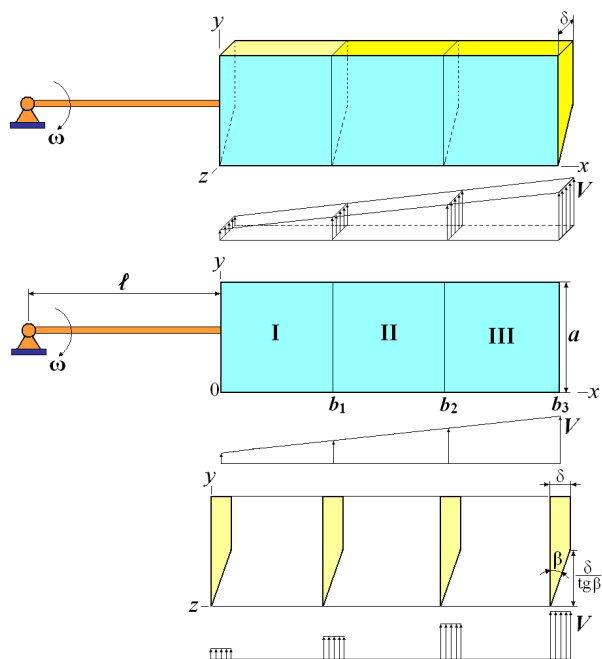


Рисунок 2 - Режущий элемент с одним лезвием (традиционный нож)

Для создания острых режущих кромок ножей на участках $0 \leq x \leq b_3$ выполнен срез в плоскости yz под углом β (рисунки 1, 2). Для эффективного резания угол β выбирается максимально острым, но при этом должно быть выполнено соотношение $\delta/\text{tg}\beta < a$.

Для режущих элементов с тремя лезвиями (рисунок 1) углы α_1 , α_2 должны быть невелики, например $< 30^\circ$, и углубление ступенчатых вырезов в тело ножа при $0 \leq x \leq b_2$ также должно быть небольшим. Это необходимо, чтобы режущие кромки ножа,

определяемые ступеньками $b_1 \operatorname{tg} \alpha_1$ и $(b_2 - b_1) \operatorname{tg} \alpha_1$ при $0 \leq x \leq b_1$ и $b_1 \leq x \leq b_2$, были достаточно острыми.

При больших углах α_1, α_2 и при большом углублении ступенчатых вырезов в тело ножа при $0 \leq x \leq b_2$ в плоскости xz возникают плоские треугольные и трапециевидальные площадки (рис. 3а), и процесс резания становится неэффективным. Заострить комбинированный нож под одним углом β на всех его участках можно, например, вырезав ступенчатые площадки на задней поверхности ножа, как показано на рисунке 3б.

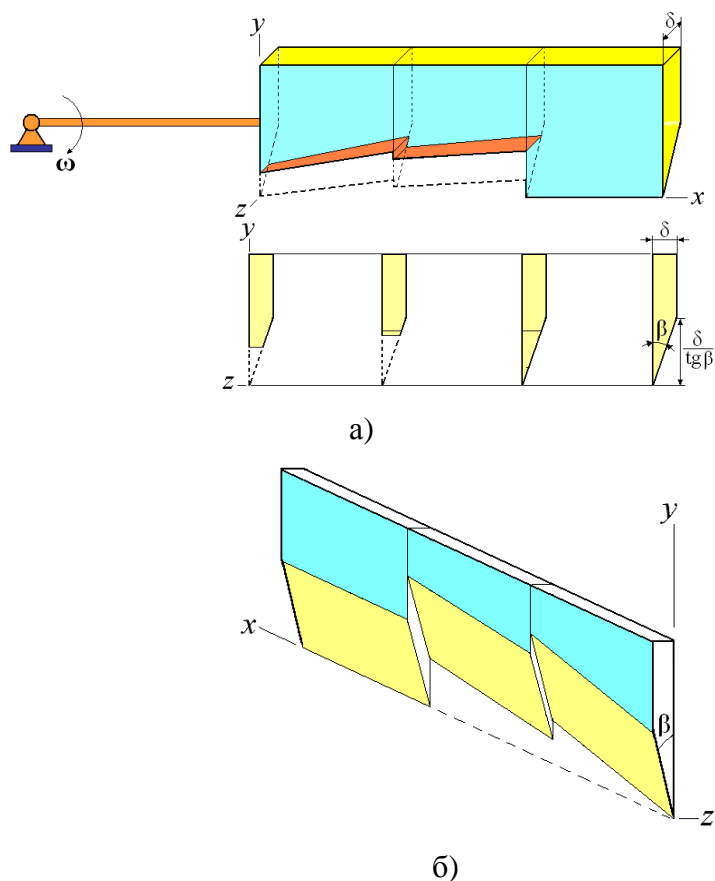


Рисунок 3 - Возможные неэффективная (а) и эффективная (б) формы ножа с тремя лезвиями

Режущие элементы расположены по периферии измельчителя, выполненного в виде плоского диска, например, как показано на рисунке 4.

В процессе математического моделирования будут получены следующие результаты.

- Для двух ножей: комбинированный из трех лезвий (рисунок 1) и традиционный (рисунок 2) должны быть построены математические модели, описывающие процессы резания порубочных остатков и включающие в себя следующее.

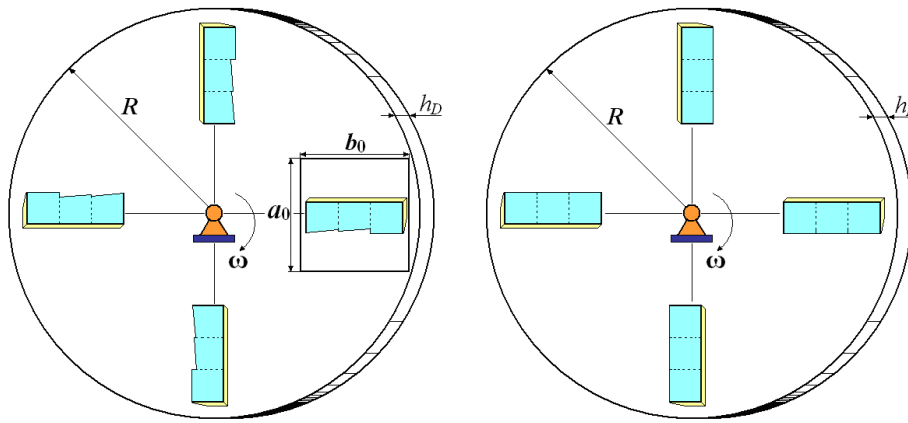


Рисунок 4 - Расположение на диске режущих элементов с тремя и одним лезвием

- Аналитические выражения для главного вектора и главного момента сил сопротивления (в том числе сил и моментов сопротивления резанию) и их составляющих в трехмерном пространстве, как функции геометрических и физических параметров и характеристик ножей на всех участках I, II, III и характеристик сплошной среды порубочных остатков, параметров движения ножа:

$$\bar{R}(R^x, R^y, R^z), \quad \bar{M}_z(M^x, M^y, M^z).$$

$$\bar{R}(\alpha_1, \alpha_2, \beta, \ell, b_1, b_2, b_3, a, \delta, \rho, \omega), \quad \bar{M}(\alpha_1, \alpha_2, \beta, \ell, b_1, b_2, b_3, a, \delta, \rho, \omega),$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \beta, \ell, b_1, b_2, b_3, a, \delta$ - геометрические параметры; ρ - плотность среды; ω - угловая скорость вращения.

- Аналитические выражения для главного вектора и главного момента сил вязкого трения, как функции геометрических и физических параметров и характеристик ножей на всех участках I, II, III и сплошной среды порубочных остатков, параметров движения ножа.

$$\bar{R}_\mu(R^x, R^y, R^z), \quad \bar{M}_{z\mu}(M^x, M^y, M^z),$$

$$\bar{R}_\mu(\mu, \alpha_1, \alpha_2, \beta, \ell, b_1, b_2, b_3, a, \delta, \rho, \omega), \quad \bar{M}_\mu(\mu, \alpha_1, \alpha_2, \beta, \ell, b_1, b_2, b_3, a, \delta, \rho, \omega),$$

где μ - динамическая вязкость среды.

- Аналитические выражения для главного вектора и главного момента сил сухого трения, как функции скорости $V(x) = \omega(x + \ell)$ потока рассматриваемой сплошной среды относительно ножа.

$$\bar{R}_T(\varepsilon, \ell, b_1, b_2, b_3, \omega), \quad \bar{M}_T(\varepsilon, \ell, b_1, b_2, b_3, \omega).$$

где ε - коэффициент сухого трения.

- Для двух ножей (рисунки 1 и 2) должен быть проведен качественный сравнительный анализ полученных характеристик процесса резания.

- Должны быть получены и исследованы динамические уравнения вращательного движения диска с ножами, получены формулы для оценки мощности сил сопротивления при процессе резания порубочных остатков.

- Для двух ножей (рисунки 1 и 2) должен быть разработан программный комплекс, реализующий построенные математические модели и позволяющий проводить автоматизированные расчеты рассматриваемых параметров процесса резания при задании исходных данных.

- Должна быть проверена работоспособность построенных математических моделей и разработанного программного обеспечения путем проведения компьютерных экспериментов и сравнения процессов резания двумя ножами (рисунки 1 и 2), в том числе по энергетическим характеристикам.

- Должна быть учтена подача порубочных остатков в зону резания и производительность процесса резания.

При составлении методики исследований предусматривался общий подход к построению математических моделей процессов переработки древесины в щепу и для расчетов и оптимизации сил и моментов сил резания.

При вращательном движении диска, для каждого режущего элемента (ножа), в рассматриваемой сплошной среде (рисунки 1, 2, 4) справедливо уравнение вращательного движения [3; 4]:

$$J\dot{\omega} = M_{ep} - \sum M_C, \quad (1)$$

где J – момент инерции режущего элемента относительно оси вращения, ω – угловая скорость вращения, M_{ep} – вращательный момент привода, $\sum M_C$ – суммарный момент сил сопротивления.

В суммарном моменте сил сопротивления $\sum M_C$ учитываются силы и моменты режущих сил (по оси y), силы и моменты сил вязкого и сухого трения.

Полагается, что привод достаточно мощный и его вращательный момент уравновешивает суммарный момент сил сопротивления.

При выполнении $M = \sum M_C$ угловая скорость вращения $\omega = \omega_0 = \text{const}$.

Для оценки энергетических затрат используется формула [5] для мощности внешних сил M^E , действующих на вращающийся с угловой скоростью ω диск с ножами:

$$P = M^E \omega. \quad (2)$$

Процесс резания рассматривается как вращательное движение режущего элемента (ножа) заданной геометрической конфигурации с учетом сил сопротивления в рассматриваемой сплошной среде.

Полагается, что поток рассматриваемой сплошной среды совершает движение относительно ножа с заданной эпюрой скоростей (рисунки 1, 2):

$$V(x) = \omega(x + \ell). \quad (3)$$

Этот поток сплошной среды имеет заданную площадь поперечного сечения $S = b \cdot \delta$, где b , δ размеры прямоугольного поперечного сечения, соответствующие геометрическим характеристикам ножа, и ударяется под заданным углом γ о площадку AB режущего элемента с нормалью \bar{R} (рисунок 5).

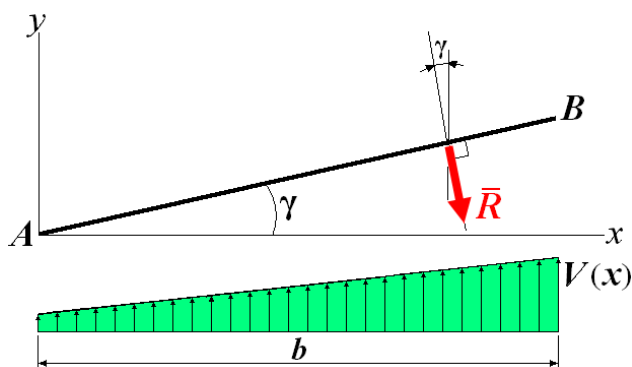


Рисунок 5 - Схема к определению силы давления R

При этих данных необходимо определить силу давления \bar{R} , производимого сплошной средой на поверхность режущего элемента.

Это и будет основной составляющей сил сопротивления, т.е. сил давления и резания.

Для решения поставленной задачи применим теорему импульсов [6] к движению объема сплошной среды за некоторый промежуток времени τ .

Этот объем заполняет участок сплошной среды длиной $V(x) \cdot \tau$ и площадью $S = b \cdot \delta$.

Масса этого объема:

$$m = \rho S V(x) \tau = \rho b \delta V(x) \tau, \quad (4)$$

где ρ – плотность сплошной среды.

На рассматриваемую систему действует сила реакции ножа \bar{R} , направленная перпендикулярно режущей поверхности ножа AB (рисунок 4). Другие силы в такой постановке, в силу их малости по сравнению с \bar{R} , на данном этапе не учитываются.

Воспользуемся теоремой импульсов в проекции на направление вектора \bar{R} , формулировка и математическое представление которой имеют следующий вид.

Изменение проекции количества движения механической системы на любую ось равно сумме проекций на ту же ось импульсов всех внешних сил, действующих на систему:

$$K_2 - K_1 = \sum F^E, \quad (5)$$

Количество движения рассматриваемого объема сплошной среды в момент времени $t_1 = 0$ является вектором, имеющим направление скорости V и модуль

$$K_1 = mV = \rho S V^2 \tau.$$

Его проекция на направление \bar{R} (рисунок 5):

$$K_1 = \rho S V^2 \tau \cos \gamma. \quad (6)$$

К моменту времени $t_2 = \tau$ частицы сплошной среды, без учета «брызг» отдельных фрагментов, приобретут скорости, направленные по поверхности AB (рисунок 5).

Тогда проекция количества движения рассматриваемого объема сплошной среды на направление \bar{R} в момент времени $t_2 = \tau$:

$$K_2 = 0. \quad (7)$$

В правую часть (5) входит лишь проекция импульса силы \bar{R}

$$\sum F^E = \int_0^{\tau} R dt = R \tau. \quad (8)$$

Подставляя выражения (6), (7), (8) в (5), получим:

$$\rho \delta b V^2 \tau \cos \gamma = R \tau.$$

Отсюда основная формула для модуля сил реакции поверхности, режущего сплошную среду элемента, примет вид:

$$\boxed{R(x) = \rho \delta b V^2(x) \cos \gamma}. \quad (9)$$

Список литературы

1. Устройство для измельчения порубочных остатков : пат. 2354545 Рос. Федерация : А 01 G 23/06 / Цыплаков В.В., Шпортько О.Н., Фокин С.В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2007147160 ; заявл. 18.12.2007 ; опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13.
2. Устройство для измельчения порубочных остатков : пат. 129452 Рос. Федерация : В 27 L 11/00 / Фокин С.В., Березников С.В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2012157974/13 ; заявл. 27.12.2012 ; опубл. 27.06.2013, Бюл. № 18.

3. Фокин С.В. К построению динамической модели жидкостного наполнителя конической фрезы при измельчении пней / С.В. Фокин, О.Н. Шпортько // Естественные и технические науки : сб. науч. работ. – М. : Спутник+, 2012. – Вып. 2. – С. 466–468
4. Фокин С.В. О влиянии конструктивных и технологических параметров машины для измельчения порубочных остатков на эффективность ее работы / С.В. Фокин, Е.В. Саввин // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. - URL: <http://www.science-education.ru/103-6453> (дата обращения: 19.06.2012).
5. Фокин С.В. Моделирование машины для измельчения порубочных остатков // Научное обозрение. - 2011. - № 5. - С. 258-265.
6. Фокин С.В. К обоснованию параметров и режимов работы устройства для измельчения порубочных остатков // Вестник Марийского государственного технического университета. - 2011. - № 3. - С. 36-45.
7. Фокин С. В. О создании комплекса машин для расчистки нераскорчеванных вырубков / В.В. Цыплаков, С.В. Фокин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2008. – № 1. – С. 60–63.

Рецензенты:

Маштаков Д.А., д.с.-х.н., доцент, заведующий кафедрой «Лесное хозяйство и лесомелиорация», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», г. Саратов.

Панкратов В.М., д.т.н., профессор, заместитель директора, Институт проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов.