

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ВАЛКИ ДЕРЕВЬЕВ МАШИНАМИ, СНАБЖЕННЫМИ ГИБКИМИ ПИЛЬНЫМИ ЦЕПЯМИ

В статье рассмотрен вопрос о падении дерева при валке его гибкими пильными цепями (ГПЦ) в многомерном пространстве. Доказывается, что падающее дерево совершает падение не в плоскости, а делает более сложное движение в пространстве с некоторым вращением и отклонением фактической плоскости падения от геометрической. Процесс падения дерева при пилении ГПЦ сводится к задаче о движении абсолютно твердого тела, имеющего неподвижную точку в варианте Лагранжа-Пуассона. В этом случае составлены шесть уравнений, при решении которых определены время падения дерева и угол отклонения фактической плоскости падения от геометрической.

Ключевые слова: падение дерева при валке, гибкие пильные цепи, многомерное пространство, фактическая и геометрическая плоскость падения.

G.L. Kozinov, A.G. Danilov, V.G. Mirgunova,
G.I. Starostin, I.M. Yenaleeva-Bandura

THEORETICAL FUNDAMENTALS OF THE TREE FELLING BY MACHINES EQUIPPED WITH FLEXIBLE SAW CHAINS

The issue of the tree falling in the process of its felling by flexible saw chains (FSC) in the multidimensional space is considered in the article. It is proved that the falling tree makes the fall not in the plane, but performs a more difficult movement with some rotation and deviation of the actual falling plane from the geometrical. The process of the tree fall in sawing by FSC is reduced to the problem of the absolutely rigid body motion having the fixed point in Lagrange-Poisson variant. Six equations are made in this case, at the solution of which the tree fall time and the deviation angle of the actual falling plane from the geometric are determined.

Key words: tree fall at felling, flexible saw chains, multi-dimensional space, actual and geometric falling plane.

Введение. Процесс валки дерева гибкими пильными цепями (ГПЦ) отличается от традиционных способов спиливания растущего дерева тем, что для ГПЦ нет необходимости в применении дополнительных и дорогостоящих валочных приспособлений, каковыми являются гидроклин, гидродомкрат, валочный рычаг, манипулятор.

В литературе рассмотрен вопрос падения дерева. Авторы [1–5] считают все части дерева абсолютно жесткими, поэтому допускают, что оно имеет всего одну степень свободы и падает в одной плоскости. В некоторых случаях подобное допущение возможно, однако в большинстве вариантов падающее дерево совершает более сложное движение в пространстве с некоторым вращением и отклонением фактической плоскости падения от геометрической. Особенно ярко это выражено при валке леса ГПЦ.

Для прямостоящих деревьев причиной падения является выход проекции центра тяжести за контур пня вследствие наклона ствола при изгибе недопила.

Рассмотрим расчетную схему положения ствола на пне в момент разрушения недопила (рис. 1).

Принимаем:

1. Расстояние BB^1 равно диаметру резца. При этом не учитываем отрезок B^1B^{11} . Такое предположение допустимо и идет в запас устойчивости ствола.

2. Точки O и O^1 лежат на одной вертикали (реально точка O^1 находится правее за счет общего смещения ствола вправо из-за изгиба недопила). То есть смещением центра тяжести за счет изгиба недопила пренебрегаем, что также идет в запас устойчивости ствола.

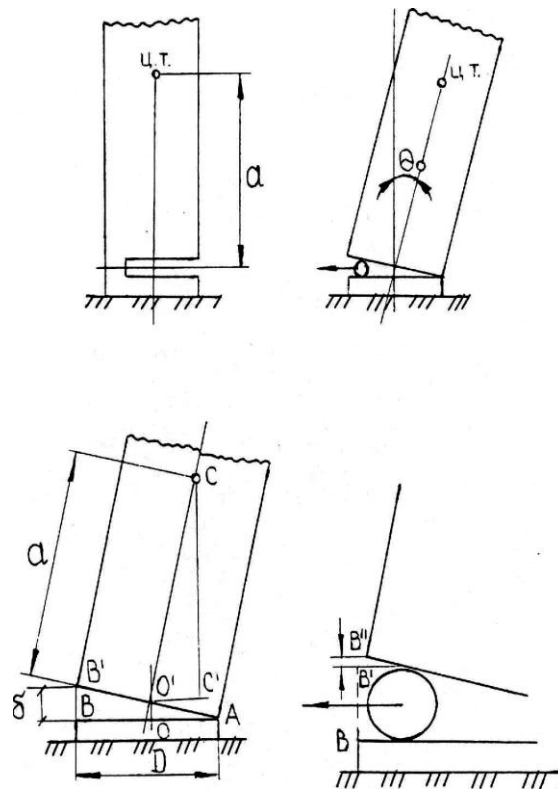


Рис. 1. Расчетная схема положения ствола на пне в момент разрушения недопила

Из подобия треугольников ABB' и $CC'O'$ следует $\angle A = \angle C = \Theta$. Поскольку угол BAB' мал, то $\operatorname{tg} \angle A = \sin \angle C$.

Из рисунка 1 видно, что $BB'/AB = \operatorname{tg} \angle A$, $O'O'/O'C = \sin \angle C$, или

$$\delta D = \operatorname{tg} \angle A, \quad O'C' = a \sin \angle C. \quad (1)$$

Из (1) получаем $O'C' = a \delta D$. (2)

Критерий начала падения дерева имеет вид: $O'C' > OA = D/2$.

Учитывая (2), находим значение высоты, при которой дерево будет опрокидываться только от наклона, вызванного выходом ГПЦ из пропила.

$$a \geq a_{\text{кр}}, \quad \text{где } a_{\text{кр}} = D^2/2\delta. \quad (3)$$

Рассмотрим процесс падения дерева в многомерном пространстве при валке его гибкими пильными цепями.

Система отсчета. Введем неподвижную систему отсчета $O\xi\eta\zeta$, выбрав начало в точке O , точке контакта ствола с пнем при падении. Направим ось $O\eta$ по направлению надвигания агрегата ГПЦ: ось $O\xi$ вертикально вверх, ось $O\zeta$ так, чтобы тройка осей $O\xi\eta\zeta$ составляла Декартову систему координат (рис. 2).

Свяжем с падающей частью дерева подвижную систему отсчета O_1XYZ с началом в точке O_1 пересечения оси дерева с плоскостью пропила. Далее пренебрегаем расстоянием между точками O и O_1 и приближенно считаем, что ось падающего дерева все время проходит через точку контакта O .

Тогда принимаем, что до начала пиления оси $O\xi\eta\zeta$ и $OXYZ$ соответственно совпадают, а при наклоне ствола за счет изгиба недопила и при его падении положение системы отсчета $OXYZ$, жестко связанной с деревом, определяется относительно неподвижных осей $O\xi\eta\zeta$ с помощью углов Эйлера: Ψ – угла прецессии; φ – угла собственного вращения; Θ – угла нутации.

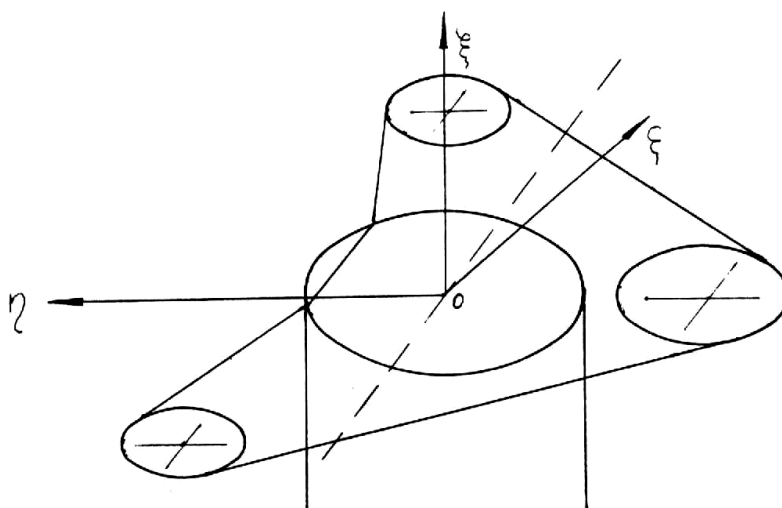


Рис. 2. Система координат в момент начала падения дерева

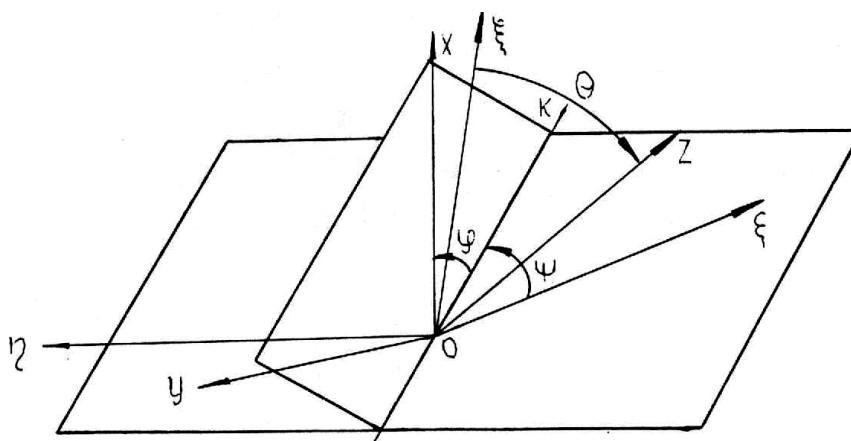


Рис. 3. Взаимодействие системы координат с прямостоящим деревом и деревом при падении

На рисунке 3 показана двойная система координат: первая связана с деревом в момент начала его падения, вторая отслеживает падение дерева, то есть постоянно связана с падающим деревом.

Линия OK – параллельная линии пропила, она является осью нутации, вокруг нее поворачивается ось OZ на угол θ ; $O\xi$ – ось собственного вращения, вокруг которой поворачивается дерево на угол φ ; $O\zeta$ – ось прецессии, вокруг нее поворачивается на угол ψ вертикальная плоскость, в которой падает ось дерева, то есть плоскость, проходящая через оси $O\xi$ и OZ .

Исходные предположения:

1. Дерево является осесимметричным абсолютно жестким телом.
2. При падении дерево имеет с пнем единственную и неподвижную точку контакта, положение которой со временем не изменяется.
3. Ось симметрии дерева проходит через точку контакта, положение которой в пределах области среза пня безразлично по отношению к системе отсчета.
4. Процесс падения начинается в момент разрушения недопила, при этом ось дерева имеет наклон θ_0 , скорость $\dot{\theta}_0$, обусловленную скоростью изгиба недопила, и скоростью прецессии $\dot{\psi}_0$, вызванную действием ГПЦ на ствол в момент разрушения недопила.
5. На дерево действуют только сила тяжести gm и силы реакции со стороны пня в точке опоры. Отсутствуют валочные устройства и приспособления, а следовательно, их усилия.

Основные уравнения, постановка задачи. При сделанных предположениях задача о процессе падения дерева при пилении ГПЦ сводится к задаче о движении абсолютно твердого тела, имеющего неподвижную точку в варианте Лагранжа-Пуассона.

В этом случае имеем шесть уравнений относительно шести функций $\psi, \varphi, \theta, \rho, q, r$.

$$\begin{aligned} Adp/dt + (B-A)qr &= gm \alpha \sin \theta \sin \varphi \\ Adq/dt + (A-B)rp &= -gm \alpha \sin \theta \cos \varphi \\ Bdr/dt &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

или в развернутом виде:

$$\begin{aligned} f_{2(\theta)} &= [\sin^2 \theta \sigma + B / A \cos \theta \sigma (\cos \theta \sigma - \cos \theta)] \psi' / \sin^2 \theta \\ f_{3(\theta)} &= \psi' \cos \theta \sigma [\sin^2 \theta \sigma + B / A \cos \theta \sigma (\cos \theta \sigma - \cos \theta)] \\ \psi' \cos \theta / \sin^2 \theta &= \psi' \cos \theta \sigma f_{2(\theta)} \cos \theta. \end{aligned} \quad (12)$$

Поскольку

$$\begin{aligned} \psi' &= d\psi/dt = d\psi/d\theta * d\theta/dt = d\psi/d\theta * \theta', \\ \varphi' &= d\varphi/dt = d\varphi/d\theta * d\theta/dt = d\varphi/d\theta * \theta', \end{aligned}$$

то, учитывая (7), запишем уравнения (9) в виде

$$d\psi/d\theta = f_{2(\theta)} / f_{1(\theta)}, \quad d\varphi/d\theta = f_{3(\theta)} / f_{1(\theta)}. \quad (13)$$

Отсюда, разделяя переменные и используя начальные условия (3) $\psi_{(\theta)} = \psi_{(\theta_0)} = \psi_0$, $\varphi_{(\theta_0)} = \varphi_{(\theta_0)} = 0$, находим

$$\begin{aligned} \psi_{(\theta)} &= \psi_{(\theta_0)} + \int_{\theta_0}^{\theta} \frac{f_{2(\theta)}}{f_{1(\theta)}} d\theta, \\ \varphi_{(\theta)} &= \int_{\theta_0}^{\theta} \frac{f_{3(\theta)}}{f_{1(\theta)}} d\theta, \end{aligned} \quad (14)$$

формулы (11), (14) решают поставленную задачу.

Анализ решения. Из решения выражений (11) и (14) при $\theta = \pi/2$, когда дерево легло на грунт, находим время падения дерева:

$$t_{\Pi} = \int_{\theta_0}^{\pi/2} \frac{d\theta}{f_{1(\theta)}}, \quad (15)$$

а из первого выражения формулы (11) находим угол отклонения ствола от направления надвигания:

$$\psi_0 = \psi_{\pi/2} = \psi_0 + \int_{\theta_0}^{\pi/2} \frac{f_{2(\theta)}}{f_{1(\theta)}} d\theta. \quad (16)$$

На рисунке 4 представлена схема расположения упавшего дерева.

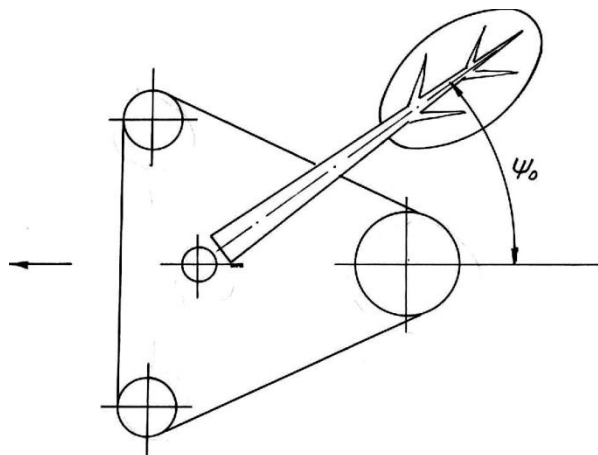


Рис. 4. Схема расположения упавшего дерева относительно ГПЦ

Пример определения времени падения дерева на грунт (tn) и угла отклонения фактической плоскости падения от геометрической (ψ_0). Воспользуемся формулами (15) и (16) для вычисления конкретных величин – времени падения дерева на грунт и угла отклонения фактической плоскости падения от геометрической. Для этого зададимся конкретными данными.

Исходные данные. Высота дерева $h = 25$ м. Диаметр дерева в месте среза $D = 0,6$ м. Расстояние от места среза до центра тяжести дерева $a = 0,38h = 9,5$ м. Диаметр кольцевых резцов ГПЦ – Дл = 0,03 м. Масса дерева $m = 3500$ кг. Момент инерции дерева $A = 0,21mJ^2 = 4,594 \times 10^5$ кг/м². Момент инерции дерева относительно оси вращения $B = 200000$ кг/м². $G = 9,81$ м/с². $I = 0 \dots n = 0 - 10$ – количество точек для вычисления характера кривой. При этих данных характер кривых представлен на рис. 5–6.

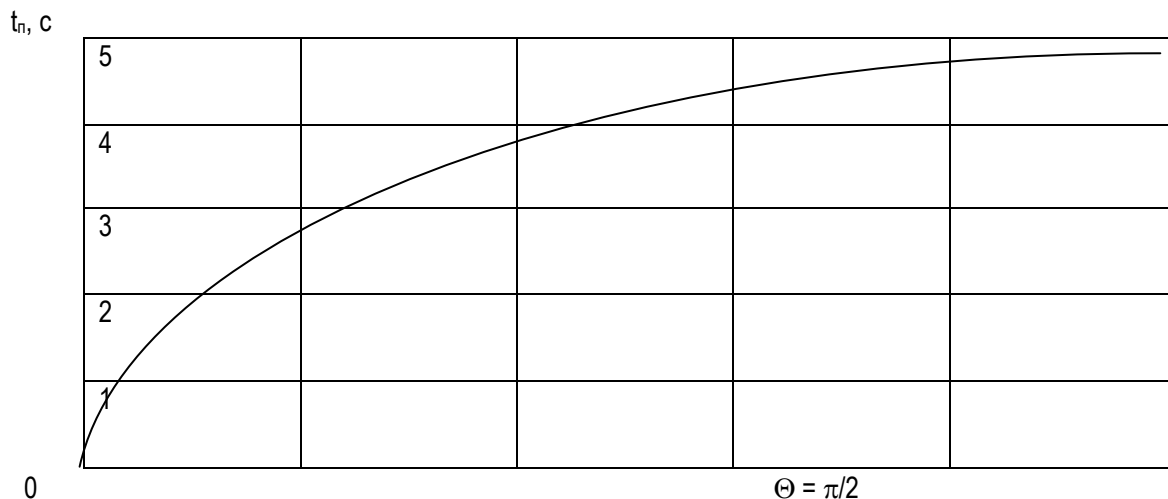


Рис. 5. Кривая времени падения дерева на грунт

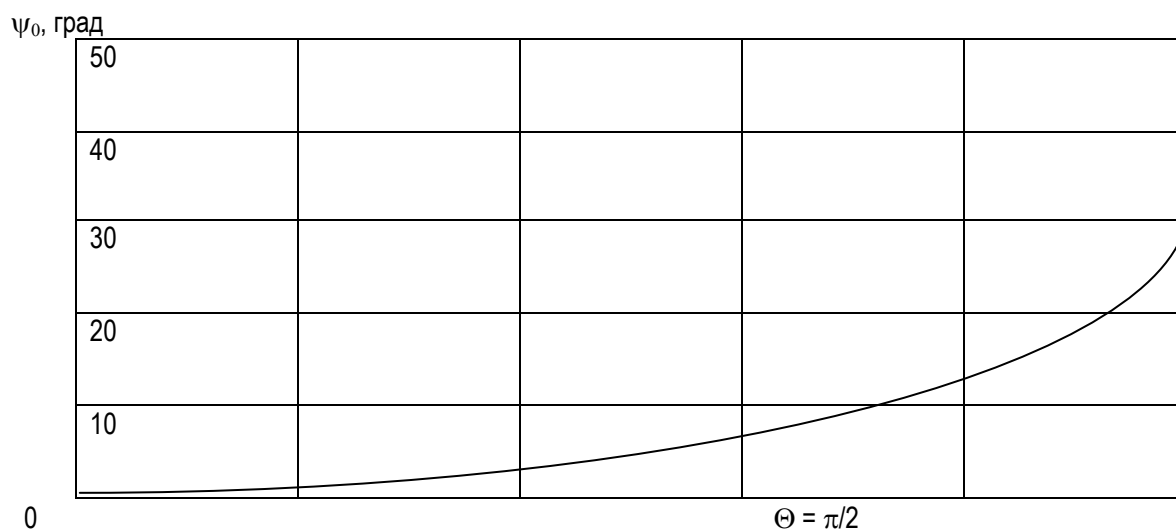


Рис. 6. Кривая угла отклонения фактической плоскости падения от геометрической

Выводы

1. Процесс валки дерева ГПЦ отличается от традиционных способов спиливания растущего дерева тем, что падающее дерево совершает более сложное движение в пространстве с некоторым вращением и отклонением фактической плоскости падения от геометрической.

2. Процесс падения дерева в многомерном пространстве можно описать с помощью уравнений Лагранжа-Пуассона.

3. Найдены выражения для определения времени падения дерева на грунт и угла отклонения ствола от направления надвигания.

Литература

1. Полищук А.П. Валка леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1972. – 175 с.
2. Федяев Л.Г. Исследование механизированного пропила и повала деревьев: дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛТА, 1958. – 219 с.
3. Савицкий Ю.Г. К вопросу исследований устойчивости деревьев при валке // Тр. ЦНИИМЭ. – Химки, 1961. – Вып. 28. – С. 59–33.
4. Фурин А.И. Исследование процесса направленного сталкивания деревьев ударно-импульсным способом при срезании их на проход: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛТА, 1978. – 19 с.
5. Матвейко А.П. Технология и машины лесосечных и лесовосстановительных работ. – Минск: Выш. шк., 1975. – 519 с.



УДК 674.03:621.034

Г.Д. Гаспарян

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОКОРКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

В статье рассматриваются основные принципы окорки лесоматериалов ультразвуком в водной среде. Процесс представлен принципами математического описания элементов технических систем и физических явлений ультразвуковой окорки.

Ключевые слова: ультразвуковая окорка, технологические комплексы, кора, окорка лесоматериалов.

G.D. Gasparyan

ULTRASONIC TIMBER BARKING PROCESS SIMULATION

The basic principles of the timber barking by ultrasound in the aquatic environment are considered in the article. The process is presented by the mathematical description principles of the technical system elements and the ultrasonic barking physical phenomena.

Key words: ultrasonic barking, technological complexes, bark, timber barking.

Введение. Для оценки эффективности ультразвуковой окорки лесоматериалов и разработки системной программы интродукции процесса и трансфера технологии в работе рассматривается комплекс вопросов по принципу дифференцирования технологического процесса и поэтапной разработке моделей, основанных на математических, физических и концептуальных принципах.

Цель исследований. Разработать комплексную модель технических систем и процессов окорки лесоматериалов ультразвуком.

Задачи исследований. Для разработки комплексной модели необходимо:

- разработать структурную схему комплексной модели технических систем и технологии окорки лесоматериалов ультразвуком;
- разработать математическую модель технических систем, предназначенных для окорки лесоматериалов ультразвуком в водной среде.

Методика и результаты исследований. Комплексная модель технических систем и технологии окорки лесоматериалов ультразвуком разрабатывается по трём основным направлениям (рис. 1) [1]:

- математическое моделирование технических систем;
- математическое моделирование процессов, протекающих при ультразвуковой окорке лесоматериалов;