

УДК 634.023.1

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ В ПРОЦЕССЕ ЦЕПОВОЙ ОКОРКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Палкин Е.В., Ушанов С.В., Розанова Т.С., Гришин К.М.

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»,
Красноярск, e-mail: palestu@yandex.ru

В работе приведены результаты теоретических исследований цеповой окорки лесоматериалов. При данном способе окорки кора разрушается в результате воздействия на нее в нормальном направлении ударной силы концевых звеньев цепа. Одной из главных характеристик процесса окорки является интегральный показатель – удельная работа окорки. Приведены данные исследований затрат энергии в процессе взаимодействия цеп – это обрабатываемая поверхность, определить которые аналитически и практически значительно проще. Рассмотрены схемы взаимодействия в отсутствие и при наличии движения подачи лесоматериала. Проанализированы контактные взаимодействия цепа с обрабатываемой поверхностью лесоматериала. Выявлено, что удельная работа окорки имеет кубическую зависимость от линейной скорости цепа, а от скорости подачи – обратную. Полученные математические модели удельных энергетических затрат позволяют исследовать режимные параметры технологического процесса цеповой окорки.

Ключевые слова: окорка лесоматериала, цеповой рабочий орган, кора, удельная работа

MATHEMATICAL MODEL OF SPECIFIC POWER EXPENSES IN THE PROCESS OF FLAIL DEBARKING

Palkin E.V., Ushanov S.V., Rosanova T.S., Grishin K.M.

Siberian State Technological University, Krasnoyarsk, e-mail: palestu@yandex.ru

The article presents the results of theoretical studies flail debarking wood. By this method of debarking, the bark is destroyed by exposure to it by the impact force terminal units flail in the normal direction. One of the main characteristics of debarking is integral index – specific work debarking. The data input energy research in the interaction process chain – is treated surface, which determine analytically and practically much easier. Considered the scheme of interaction in the absence and in the presence of the feed movement of timber. Contact interactions are analyzed flail with the treated surface timber. It is revealed that specific work debarking has a cubic dependence on the linear velocity of the flail, and feed speed – reverse. The resulting mathematical model of the specific energy costs allow to investigate the operating parameters of the flail debarking.

Keywords: timber debarking, flail body, bark, specific work, energy cost analysis

Целлюлозно-бумажная промышленность и лесопиление являются основными производствами, которые определяют эффективность использования леса и экономику лесопромышленного комплекса. Одной из важнейших операций этих производств является окорка. Эффективным использованием и высокими эксплуатационными показателями зарекомендовали себя цеповые окорочные установки фирм «Manitowoc», «Morbark», «Husky Brute» в зарубежной лесной промышленности. Особенно широко данный способ окорки распространен в США. Его используют при совмещении операций очистки от ветвей и сучьев и окорки ствола дерева. Цеповой орган позволяет обрабатывать спиленные и стрелеванные деревья и хлысты. Конечными продуктами являются окоренные круглые лесоматериалы с качеством окорки 90–98% и потерями древесины до 3–8%, топливная, зеленая щепа [1]. Для оценки внедрения данного способа окорки в отечественное использование необходимо изучить сущность процесса, его силовые и энергетические показатели.

Цель исследования – разработать математические модели процесса взаимодей-

ствия цепа и обрабатываемой поверхности лесоматериала для определения энергетических затрат и их зависимостей от режимных параметров технологического процесса.

Процесс цеповой окорки отличается от других известных способов. При цеповой окорке кора разрушается в результате воздействия на нее в нормальном направлении ударной силы. Определяющим в этом случае является уже предел прочности коры на сжатие поперек волокон.

Изучение процессов, происходящих при цеповой окорке древесины, производится путем рассмотрения возникающих при этом сил и их воздействия на обрабатываемый предмет [2]. Этот путь представляется не очень удачным. Эти силы действуют очень малое время, определить которое практически невозможно, следовательно, невозможно определить и величину этих динамических сил. Поэтому приходится ограничиваться общими теоретическими выкладками, а для получения практических рекомендаций проводить экспериментальные исследования. Мы предлагаем другой путь – исследовать не действующие силы, а затраты энергии, определить которые

и аналитически, и практически значительно проще [5].

Одной из главных характеристик процесса цеповой окорки является интегральный показатель – удельная работа окорки k , которая является частным от деления работы окорки A на объем снятой коры G , то есть

$$k = \frac{A}{G} = \frac{N \cdot T}{G}, \quad (1)$$

где N – мощность, затрачиваемая на окорку; T – время, в течение которого проходил процесс.

Размерность удельной работы окорки – Дж/м³ (в производстве обычно МДж/м³). На величину удельной работы процесса цеповой окорки оказывают основное влияние следующие факторы: масса звеньев цепов (m), число рядов цепов на приводном валу (цеповой головке, барабане) (Z), линейная

скорость движения контактирующих цепов по обрабатываемой поверхности (V_K), расстояние от крайнего звена до оси вращения (R), скорость подачи (надвигания) (U), площади поперечного сечения снимаемой ленты коры (F), количество звеньев, участвующих в контакте (n_3).

Составим расчетную схему продольного взаимодействия цепи с поверхностью обрабатываемого объекта (рис. 1) [6]. Для упрощения представим цепь как набор точечных масс m , соединенных между собой с шагом t невесомыми нитями и вращающимися с угловой скоростью ω . Расстояние от центра звена до оси вращения – R_1 ; расстояние от центра следующего звена до оси вращения – R_2 и т.д.; $R_1 - R_2 = t$; h – расстояние от центра вала до обрабатываемой поверхности.

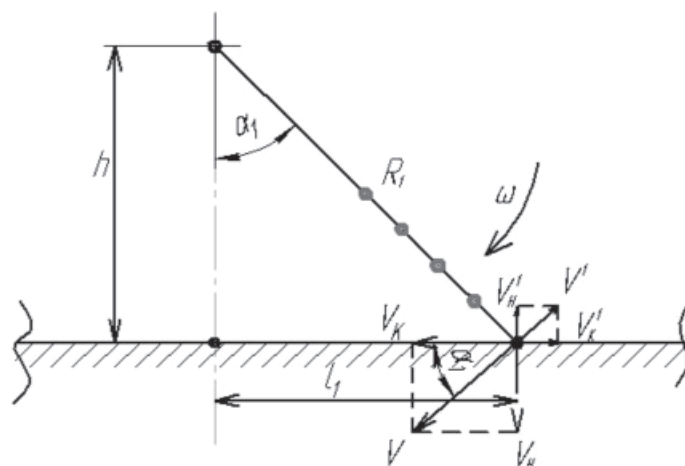


Рис. 1. Момент касания поверхности первым звеном: h – расстояние от центра вала до обрабатываемой поверхности; α_1 – угол встречи конечного звена цепи и обрабатываемой поверхности; R_1 – расстояние от центра конечного звена до оси вращения цепи; ω – угловая скорость вращения цепи; V – линейная скорость цепи в момент касания с поверхностью; V^1 – скорость отскока цепи в результате контактного взаимодействия; l_1 – расстояние от вертикали, проходящей через центр вала до точки контакта первого звена с поверхностью

Сначала рассмотрим случай, когда обрабатываемая поверхность неподвижна, т.е. движения подачи нет. Процесс протекает следующим образом. Цеп, вращаясь с угловой скоростью ω , подходит к обрабатываемой поверхности, и первое звено касается её с линейной скоростью V . Происходит косой удар под углом α_1 к поверхности. Если бы масса первого звена m не находилась под действием центробежной силы и звено не было бы связано с остальными звеньями, то, согласно теории удара, произошел бы обыкновенный отскок (рикошет). Угол отскока не равен углу падения и определяется величиной коэффициента мгновенного трения, который зависит от состояния шероховатости поверхности и находится экс-

периментальным путем. При абсолютно гладкой поверхности угол отражения равен углу падения, а при шероховатой – меньше.

В нашем случае этого не произойдет, и отскок произойдет по закону маятника, т.е. в обратном направлении по дуге качания. При малых значениях угла α_1 не исключен и первый вариант, но, в принципе, нас это не особенно интересует. Вопрос очень сложный и требует специального исследования. Главное, что в том и другом случае произойдет отскок массы после удара. Скорость его V^1 будет равна произведению линейной скорости в момент касания с поверхностью V на коэффициент упругого восстановления k_b [3, 4]. Нормальные (V_H^1 и V_H) и касательные (V_K и V_K^1) составляющие

этих скоростей направлены в противоположные стороны.

Кинетическая энергия удара массы m со скоростью V_H в нормальном направлении –

$$E_y^H = \frac{m \cdot V_H^2}{2} = \frac{m \cdot V^2 \sin^2 \alpha_1}{2}. \quad (2)$$

$$E_1^p = E_y^H - E_b^H = \frac{m \cdot V^2 \sin^2 \alpha_1}{2} - \frac{m \cdot V_1^2 k_b^2 \sin^2 \alpha}{2} = \frac{m \cdot V^2 \sin^2 \alpha}{2} \cdot (1 - k_b^2). \quad (4)$$

Эта энергия полностью пойдет на деформирование коры в нормальном направлении, т.е. на сжатие её поперек волокон.

Рассмотрим момент касания второго звена (рис. 2). Точка контакта первого звена с поверхностью (I) находится на расстоянии $l_1 = R_1 \sin \alpha_1$ от вертикали, проходящей через центр вала. Аналогично точка касания второго звена (II) будет находиться на расстоянии $l_2 = R_2 \sin \alpha_2$. Масса первого звена за этот промежуток времени переместится по поверхности объекта из точки (I) в точку (I') на расстояние $l_1 - l_2 - t$ (т.е. $R_1 \sin \alpha_1 - R_2 \sin \alpha_2 - t$), совершая работу трения.

Энергия упругого восстановления –

$$E_b^H = \frac{m \cdot (V_H^1)^2}{2} = \frac{m \cdot V^2 \cdot k_b^2 \sin^2 \alpha_1}{2}. \quad (3)$$

Соответственно кинетическая энергия разрушения поверхности первым звеном

Кинетическая энергия разрушения вторым звеном будет

$$E_2^p = \frac{m}{2} (\omega R_2 \sin \alpha_2)^2 (1 - k_b^2)$$

или

$$E_2^p = \frac{m \cdot V_2^2 \sin^2 \alpha_2}{2} \cdot (1 - k_b^2). \quad (5)$$

Эта величина меньше, чем E_1^p , так как $R_2 < R_1$ и $\alpha_2 < \alpha_1$. Таким образом, за один оборот вала цепи будет нанесен ряд ударов уменьшающейся силы от максимума в точке (I) до нуля в точке под осью вала.

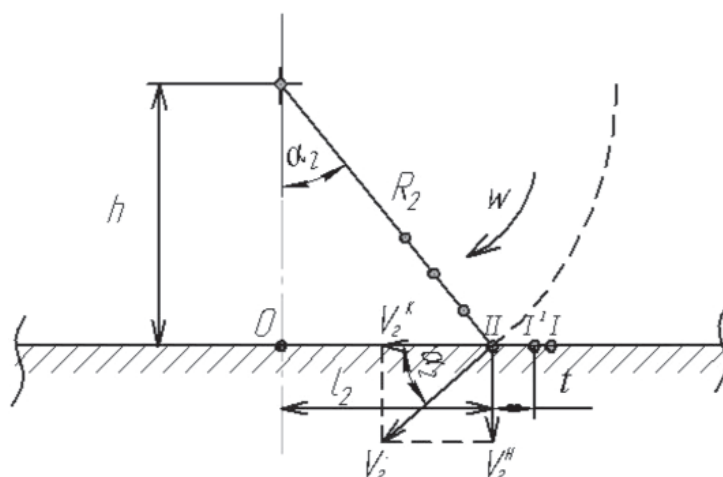


Рис. 2. Момент касания второго звена: α_1 – угол встречи конечного звена цепи и обрабатываемой поверхности; R_2 – расстояние от центра второго звена до оси вращения цепи; ω – угловая скорость вращения цепи; V – линейная скорость цепи в момент касания с поверхностью; V^1 – скорость отскока цепи в результате контактного взаимодействия; l_1 – расстояние от вертикали, проходящей через центр вала до точки контакта первого звена с поверхностью

Общая энергия разрушения в нормальном направлении –

$$E_H^p = \frac{m \omega^2}{2} (1 - k_b^2) Z \sum_{i=1}^{i=n_3} (R_i \cdot \sin \alpha_i)^2$$

или

$$E_H^p = \frac{m}{2} (1 - k_b^2) Z \sum_{i=1}^{i=n_3} (V_i \cdot \sin \alpha_i)^2, \quad (6)$$

где n_3 – количество звеньев, участвующих

в контакте (в целых числах) $n_3 = \frac{R_i - h}{t}$.

Расстояние между точками ударов также уменьшается. Если $l_1^2 = R_1^2 - h^2$ а $l_2^2 = (R_1 - t^2) - h^2$, то $l_1^2 - l_2^2 = 2Rt - t^2$ (выкладки опускаем). $l_2^2 - l_3^2 = 2Rt - 3t^2$; $l_3^2 - l_4^2 = 2Rt - 5t^2$ и так далее.

Касательная составляющая линейной скорости первого звена в первой точке взаимодействия $V_K = \omega R_1 \cdot \cos \alpha_1$, а в точке O , находящейся под осью вращения $V_K^0 = \omega h$. Если учесть, что расстояние от центра вала до обрабатываемой поверхности $h = R_1 \cdot \cos \alpha_1$, то получится, что эти скорости равны. Отсюда следует вывод, что все звенья цепи, вступающие в контакт с обрабатываемой поверхностью, двигаются по ней с одинаковой скоростью V_K , равной ωh [6].

В отсутствии скорости надвигания при следующем обороте звенья цепи ударят по тем же самым местам. При наличии попутной U удар будет происходить с некоторым сдвигом, шагом удара e относительно предыдущих точек. Величину этого шага можно определить из основного кинематического соотношения $\frac{U}{V_K} = \frac{e \cdot Z}{2\pi R}$, откуда

$$e = \frac{2\pi R \cdot U}{Z \cdot V_K}.$$

Разрушение коры от ударов звеньев цепи в нормальном направлении будет происходить только в первой половине общей зоны контакта от точки I до точки O (рис. 2).

Вернемся к рис. 1. Составляющая линейной скорости V_K дает энергию разрушения в касательной плоскости первым звеном

$$E_K^P = \frac{m \cdot V^2 \cos^2 \alpha_1 \cdot (1 - k_b^2)}{2}.$$

Если энергия в нормальном направлении полностью поглотится деформацией коры (вплоть до прессования), то энергия в касательном направлении будет востребована лишь частично. Она затратится на скалывание вдоль волокон, перемещение массы m по поверхности (контакт массы с поверхностью может и не потеряться за счет прижима центробежной силой, а если и потеряется, то через несколько мгновений после отскока восстановится, и цеп будет волочиться), истирание несколотых остатков коры и т.п. Все эти составляющие значительно меньше деформативной. Наиболее существенное из них – волочение цепи по поверхности обработки.

Сила трения при перемещении звена массой m равна $mg\mu$, где mg – сила тяжести, μ – коэффициент трения металла звена по древесине или коре. Энергия на горизонтальное перемещение первого звена равна $mg\mu \cdot 2l_1$, второго звена – $mg\mu \cdot 2l_2$ и так далее. Общая

энергия на перемещение цепи по обрабатываемой поверхности за один оборот вала

$$E^{\text{II}} = 2mg\mu n \sum_{i=1}^{i=n} l_i \cdot Z. \quad (7)$$

По абсолютной величине эта энергия значительно меньше, чем E^P . Остаток энергии в касательном направлении тратится на движение цепи и на процесс непосредственной окорки не влияет.

Общая энергия, создаваемая первым звеном, определится как сумма (4) и (6)

$$E_p = \frac{m \cdot V^2 (1 - k_b^2)}{2}. \quad (8)$$

Рассматривая последовательно работу звеньев в касательной плоскости и суммируя её с энергией в нормальной плоскости, получим общую энергию разрушения, которую способен отдать цеп за один оборот

$$E = \frac{m(1 - k_b^2)Z}{2} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} V_i^2.$$

Эту зависимость можно выразить в ином виде:

$$E = \frac{m\omega^2(1 - k_b^2)Z}{2} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} R_i^2.$$

В зависимости от кинематических параметров процесса этого количества энергии может не хватить для качественной окорки, а может быть и излишним, когда производится чрезмерное измельчение коры. Всё зависит от конкретных условий: угловой скорости, скорости надвигания, массы рабочей части цепи, толщины коры, её физико-механических свойств и т.п. В идеальном случае создаваемая цепом энергия соответствует 100% окорки. Решение в этом случае зависит от свойств коры не только на сдвиг или скалывание вдоль волокон (что более изучено), но и от смятия поперек волокон и удар – (что совершенно не изучено).

Когда за один проход цеп полностью производит окорку без лишних затрат энергии, удельная работа окорки k выразится как общая энергия разрушения цепом, отнесенная к объему снятой коры G .

За один оборот этот объем равен $G = e \cdot F \cdot Z$. Из рассмотренного следует, что удельная работа окорки

$$k = \frac{E}{e \cdot F \cdot Z} = \frac{E V_K}{2\pi R_1 U F}.$$

Непосредственно на окорку за- том этого удельная работа окорки оп- трачивается работа (6) и (8), с уче- ределится как

$$k = \frac{mZ(1-k_b^2)V_K}{4\pi R_1 UF} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} V_i^2 \sin^2 \alpha_i + \frac{2mg\mu nZV_K}{2\pi R_1 UF} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} l_i$$

или

$$k = \frac{mZV_K}{\pi R_1 UF} \cdot \left[\frac{1-k_b^2}{4} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} V_i^2 \sin^2 \alpha_i + g\mu n \cdot \sum_{i=1}^{i=n} l_i \right]. \quad (9)$$

Выводы

Из данной математической модели сле- дует вывод, что удельная работа окорки имеет кубическую зависимость от линей- ной скорости цепа, а от скорости подачи – обратную. Разработанные математические модели удельной работы процесса цеповой окорки позволяют определить энергетиче- ские затраты рабочих режимов с учетом влияния на элементы конструкции эксплуа- тационных и конструктивных факторов.

Список литературы

1. Васильев С.А. Испытания окорочных круглозвенных цепей // Лесная промышленность. – 1992. – № 3. – С. 26.
2. Крисько А.С. Повышение эффективности процесса окорки пиленных лесоматериалов гибкими рабочими орга- нами: дис. ... канд. техн. наук: – Красноярск, 2003. – 189 с.
3. Курицын В.Н., Гришин К.М., Коробкин А.В. Экспе- риментальное определение коэффициента восстановления // Проблемы химико-лесного комплекса: сб. ст. – Красноярск: КГТА, Часть 1: – 1997. – С. 173–177.
4. Курицын В.Н., Лозовой В.А. Основы расчета лесоза- готовительного оборудования. Часть 2: методическое посо- бие. – Красноярск: СибГТУ, 2005, – 44 с.
5. Палкин Е.В., Курицын В.Н. Применение энергетиче- ского метода при определении силовых параметров окорки цеповыми рабочими органами. Химико-лесной комплекс – проблемы и решения // Материалы научно-практической конференции. – Красноярск, 2004. – С. 111.
6. Палкин Е.В., Курицын В.Н. Анализ энергетических затрат в процессе цеповой окорки древесины // Вестник Крас- ГАУ, Вып. 7: сб. ст. – Красноярск: КрасГАУ, 2013. – С. 229–234.

References

1. Vasilyev S.A. Tests of debarking round link chains. For- est industry. 1992. № 3. p. 26
2. Kricso A.S. Improving the efficiency of debarking pro- cess of sawed timber flexible working bodies: dis...Cand. the technology. Sciences: 05.21.01 Krasnoyarsk, 2003. 189 p.
3. Kuritsyn V.N., Grishin K.M., Korobkin A.V. Experimen- tal determination of the coefficient of restitution. chemical-forest complex: Proc. of art Krasnoyarsk: the KSTA, Part 1: 1997. pp. 173–177.
4. Kuritsyn V.N., Lozovoy V.A. The basis of calculation of harvesting equipment. Part 2. Methodical manual. Krasnoyarsk 2005, 44 p.
5. Palkin E.V., Kuritsyn V.N. Application of the energy method when determining the power settings debarking flail working bodies. Chemical-forestry problems and solutions sci- entific-practical conference. Krasnoyarsk, 2004. 111 p.
6. Palkin E.V., Kuritsyn V.N. The analysis of power ex- penses in chain flails debarking process. Vestnik Krasgu, Epi- sode 7: Proc. of art Krasnoyarsk: KrasGAU, 2013. pp. 229–234.

Рецензенты:

Полетайкин В.Ф., д.т.н., профессор, за- ведующий кафедрой технологии и машин природообустройства, ФГБОУ ВПО «Си- бирский государственный технологический университет», г. Красноярск;

Козин Г.Л., д.т.н., профессор, заве- дующий кафедрой промышленного транс- порта и строительства, ФГБОУ ВПО «Си- бирский государственный технологический университет», г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 21.05.2014.