

DOI: 10.15393/j2.art.2016.3301

УДК 676.051.345.3

Краткое сообщение

Теоретический анализ особенностей групповой окорки длинномерных лесоматериалов

**Геннадий Н. Колесников ^{1,*}, Игорь В. Григорьев ², Александр Е. Лукин ³,
Ольга А. Куницкая ⁴**

¹ Петрозаводский государственный университет, 185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33; E-Mail: kolesnikovgn@yandex.ru

² ТЛЗП СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург; E-Mail: silver73@inbox.ru

³ Институт леса и природопользования, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия; E-Mail: lv-fashion@bk.ru

⁴ ТЛЗП СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург; E-Mail: ola.ola07@mail.ru

* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: kolesnikovgn@yandex.ru;

Получена: 25 апреля 2016 / Принята: 25 мая 2016 / Опубликована: 28 июня 2016

Аннотация: При окорке длинномерных лесоматериалов длина окорочного барабана меньше длины окашиваемого сортимента, что уменьшает массу барабана и затраты энергии на его работу. Уменьшается стоимость барабана, снижаются затраты на его транспортировку, монтаж, эксплуатацию, включая ремонт. Комплекс этих явных преимуществ соответствует современным требованиям ресурсосбережения, энергоэффективности и рационального природопользования, что создает основания для вывода о перспективности данной технологии окорки.

Ключевые слова: окорка, окорочные барабаны.

DOI: 10.15393/j2.art.2016.3301

Article

Theoretical analysis of the characteristics of the group debarking of long timber

Gennady N. Kilesnikov^{1*}, Igor V. Grigorev², Alexander E. Lukin³, Olga A. Kunitskaya⁴

¹ PetrSU, Lenin av. 33, 185910 Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia; E-Mail: kolesnikovgn@yandex.ru

² Saint-Petersburg state forest technical University named after S. M. Kirov, Saint Petersburg, Russia; E-Mail: silver73@inbox.ru

³ Saint-Petersburg state forest technical University named after S. M. Kirov, Saint Petersburg, Russia; E-Mail: lv-fashion@bk.ru

⁴ Saint-Petersburg state forest technical University named after S. M. Kirov, Saint Petersburg, Russia; E-Mail: ola.ola07@mail.ru

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: kolesnikovgn@yandex.ru;

Received: 25 April 2016 / Accepted: 25 May 2016 / Published: 28 June 2016

Abstract: At the debarking of timber of long length of the debarking drum is less than the length Karibaeva assortment, which reduces the mass of the drum and the energy cost of his work. Decreases the cost of the drum, reduces the cost of its transportation, installation, operation, including repairs. The complex of these apparent advantages meets the modern demands of resource conservation, energy efficiency and environmental management that provide a basis for a conclusion about the prospects of this technology of debarking.

Keywords: debarking, debarker drums

1. Введение

Проблема повышения эффективности групповой механической окорки лесоматериалов [1] не утратила своей актуальности до настоящего времени, что объясняется не только современными, более высокими требованиями к ресурсосбережению, но и появлением новых задач. Ряд таких задач связан, прежде всего, с необходимостью исследования и совершенствования новых технологий окорки длинномерных сортиментов (длина которых, согласно ГОСТ, более 6,5 м) в установках барабанного типа, что объясняется следующими отличительными особенностями принципиальной важности.

Во-первых, при использовании данной технологии длина корообдирочного барабана должна быть меньше длины окориваемого сортимента, что существенно уменьшает не только массу барабана, но и, как следствие, затраты энергии на вращение вокруг его продольной оси. Кроме того, уменьшается стоимость барабана, снижаются затраты на его транспортировку, монтаж, эксплуатацию, включая ремонт, демонтаж утилизацию. Комплекс этих явных преимуществ соответствует современным требованиям ресурсосбережения, энергоэффективности и рационального природопользования, что создает основания для вывода о перспективности данной технологии окорки [2].

Во-вторых, наряду с указанными выше явными преимуществами имеются впервые отмеченные в работе [2] особенности технологии окорки, выражающиеся в том, что при окорке сортиментов, длина которых меньше длины барабана, они (сортименты) изгибаются в различных направлениях при вращении барабана вокруг его продольной оси. По этой причине, в дополнение к сдвигам и соударениям сортиментов друг с другом и с внутренней поверхностью барабана, появляются знакопеременные силовые воздействия, которые вызывают растяжение в некоторой области коры и сжатие в диаметрально противоположной области сортимента при его изгибе. Для балансов стандартной длины (1,2 м) данное обстоятельство не имеет принципиального значения и во внимание не принимается, поскольку такие балансы при окорке в барабане почти не изгибаются по причине их большой изгибной жесткости. Однако при окорке длинномерных сортиментов влияние изгиба весьма существенно, что необходимо учитывать при обосновании рекомендаций по совершенствованию соответствующей технологии. Детали данной технологии с графическими иллюстрациями более подробно рассмотрены в статьях [3, 4]. При этом, в целях обоснования рекомендаций по совершенствованию технологии окорки длинномеров, важно исследовать влияние изгиба длинномеров на разрушение коры в рамках технологического процесса окорки. Очевидно, необходимо исследовать не только влияние отдельно взятых изгиба и удара, но и совместное воздействие в двух случаях: изгиб и удар по сжатой зоне; изгиб и удар по растянутой зоне. Эти два случая, как показал анализ литературы, практически не изучены в степени, достаточной для обоснования рекомендаций по совершенствованию окорки длинномерных сортиментов.

2. Материалы и методы

Рассматривая особенности поведения коры при изгибе окориваемого сортимента, принципиально важно отметить следующие обстоятельства. Камбий каждый год обновляется, поэтому его прочность и жесткость меньше по сравнению с прочностью и жесткостью материала, как древесной части ствола, так и коры. С точки зрения механики это означает, что любой участок коры может рассматриваться как фрагмент цилиндрической оболочки или пластинки на упругом основании. Функции упругого основания выполняет

камбий и, возможно, луб, что зависит от возраста, влажности, температуры, породы и других характеристик. Наиболее простой моделью, позволяющей исследовать закономерности деформирования коры при сжатии, является сжимаемый стержень, опирающийся на упругое основание.

Продольная ось стержня ориентирована вдоль волокон древесины ствола. Форму поперечного сечения стержня выберем в виде квадрата, сторона которого равна толщине коры. При появлении сжимающих сил стержень деформируется и может перейти из прямолинейной формы равновесия в форму равновесия с искривленной осью. Явление потери устойчивости сжатого стержня на упругом основании достаточно полно изучено.

Используя известную методику [10, с. 53-62], рассмотрим сжатый силой P стержень, шарнирно опертый по концам, связанный со сплошным упругим основанием в виде указанного выше камбиального слоя. Пусть реакция R основания, приходящаяся на единицу длины стержня l , пропорциональна перемещению v в радиальном направлении (то есть по нормали к боковой поверхности ствола): $R = cv$. Коэффициента c имеет размерность Па. Пусть E – модуль упругости материала коры, h – толщина коры и, соответственно, момент инерции поперечного сечения стержня $I = \frac{h^4}{12}$. Тогда задача определения критического значения силы $P = P_{кр.}$, при которой стержень, то есть продольный участок коры, из прямолинейной формы равновесия переходит в форму равновесия с искривленной осью, характеризующейся появлением волн, сводится к решению однородного линейного дифференциального уравнения:

$$\frac{d^4 v}{dx^4} + k^2 \frac{d^2 v}{dx^2} + r v = 0, \quad (1)$$

Здесь $k^2 = \frac{P}{EI}$, $r = \frac{c}{EI}$.

Решение уравнения (1) получено в предположении, что деформированная ось стержня при $P = P_{кр.}$ очерчена по синусоиде

$$v = A \sin \frac{n\pi}{l} x \quad (2)$$

Здесь A – амплитуда (остается неопределенной), n – число полуволн, $0 < x \leq l$. При этом

$$\frac{n\pi}{l} = \sqrt[4]{\frac{c}{EI}} \quad (3)$$

Важно подчеркнуть, что для стержня на упругом основании число полуволн $n > 1$, в отличие от стержня без упругого основания, для которого $n \geq 1$. Для рассматриваемого стержня на упругом основании число полуволн определяется из условия минимума P , что соответствует $P = P_{кр.}$. С учетом приведенных выше обозначений критическая сжимающая сила определяется формулой:

$$P_{кр.} = 2\sqrt{EIc} \quad (4)$$

В отличие от стержня без упругого основания, величина $P_{кр.}$ не зависит от длины стержня, но определяется, как отмечено выше, по минимуму числа полуволен n , которые имеют определенную длину в каждом конкретном случае.

Из формулы (4) следует, что с увеличением изгибной жесткости коры EI и с увеличением сцепления коры с древесиной ствола критическая сила возрастает.

Рассмотрим пример применения расчетной формулы (4). Пусть длина сжатой зоны $l = 0,02$ м, $h = b = 1$ мм, $E = 5$ МПа, $c = 12$ Мпа. Соответственно, $EI = 4,17 \cdot 10^{-7}$ Нм². Получим после вычислений: $P_{кр.} = 4,47$ Н; нормальное напряжение в поперечном сечении условного стержня $\sigma_{кр.} = \frac{P_{кр.}}{A} = 4,47$ МПа, в сжатой зоне число полуволен $n = 15$; длина полуволены 1,3 мм.

Если при тех же условиях $E = 12$ МПа, то $P_{кр.} = 6,93$ Н; нормальное напряжение в поперечном сечении условного стержня $\sigma_{кр.} = \frac{P_{кр.}}{A} = 6,93$ МПа, в сжатой зоне число полуволен $n = 12$; длина полуволены 1,7 мм.

Если при тех же условиях $E = 5$ МПа, $c = 25$ МПа то $P_{кр.} = 6,45$ Н; нормальное напряжение в поперечном сечении условного стержня $\sigma_{кр.} = \frac{P_{кр.}}{A} = 6,45$ МПа, в сжатой зоне число полуволен $n = 18$; длина полуволены 1,1 мм.

В рассматриваемом случае $h = b$, момент инерции $I = \frac{bh^3}{12} = \frac{h^4}{12} = \frac{A^2}{12}$, где $A = h^2$ – площадь поперечного сечения рассматриваемого условного стержня на упругом слое камбия. Используя (4), найдем критическое напряжение в материале коры, при котором данный сжатый участок коры, теряя устойчивость, деформируется с образованием волн:

$$\sigma_{кр.} = \frac{P_{кр.}}{A} = \frac{2\sqrt{EI}c}{A} = \frac{2\sqrt{E\frac{A^2}{12}}c}{A} = \sqrt{\frac{E}{3}c} \quad (5)$$

Из (5) следует, что формально $\sigma_{кр.}$ зависит только от модуля упругости E и от упругости слоя камбия c . Однако необходимо учитывать, что характеристики E и c зависят от таких факторов, как толщина коры и ее влажность, температура [5-9].

Поэтому формула (5) должна быть дополнена некоторыми поправочными коэффициентами, обоснование которых может составить предмет отдельного исследования.

Если напряжение в материале коры при изгибе сортиментов в корообдирочном барабане больше или равно $\sigma_{кр.}$ (5), то имеет место потеря устойчивости сжатого участка коры, его деформирование и, как следствие, разрушение камбияльного слоя, что, в свою очередь, ослабляет связь данного участка коры с древесиной сортимента и увеличивает интенсивность технологического процесса окорки. Напряжение в материале коры при изгибе сортиментов может быть определено как в балке, изготовленной из различных материалов (древесина и кора). Напряжения в материале коры могут быть определены численно, с применением комплексов программ конечно-элементного анализа [4].

Для уточнения рекомендаций по совершенствованию технологии окорки и соответствующего оборудования представляют практический интерес закономерности влияния как модуля упругости коры E , так и упругости слоя камбия c на число, указанное выше полуволен n и на $\sigma_{кр.}$.

С точки зрения геометрии потеря устойчивости сжатого участка коры проявляется себя в виде волнистости. При этом число полуволн n зависит от физико-механических характеристик коры и камбия.

Теоретическое значение длины полуволны w найдем из (3):

$$w = \frac{l}{n} = \pi \left(\frac{EI}{c} \right)^{1/4} \quad (6)$$

В рассматриваемом случае $I = \frac{bh^3}{12} = \frac{h^4}{12}$. Тогда

$$w = \pi h \left(\frac{E}{12c} \right)^{1/4} \quad (7)$$

Из (7) следует, что длина полуволны прямо пропорциональна толщине коры. При этом существенно меньше влияние модуля упругости материала коры и упругих свойств камбия. Например, возрастание модуля упругости в 16 раз приводит к увеличению длины полуволны в два раза; увеличение упругости камбия в 16 раз приводит к уменьшению длины полуволны в два раза.

3. Результаты

Обобщая изложенное, можно считать теоретически и экспериментально обоснованным, что при изгибе окориваемых длинномерных сортиментов в их сжатых зонах появляются значительные сжимающие напряжения, приводящие к потере устойчивости сжатых участков коры и к разрушению камбиального слоя при его наличии. Дополнительные воздействия в виде ударов по тем же зонам завершают очистку от коры. В растянутых при изгибе зонах явление потери устойчивости не имеет места, вследствие чего указанный выше эффект ускорения окорки отсутствует в этих зонах.

Литература

1. Baroth R. Literature review of latest development of wood debarking // Report A № 27. Control Engineering Laboratory, University of Oulu. 2005. 29 p. <http://ntsat.oulu.fi/file.php?353>
2. Куницкая О.А., Лукин А.Е. Обоснование направления уточнения математической модели групповой окорки лесоматериалов для условий окорки длинномеров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 430-433.
3. Куницкая О.А., Колесников Г.Н., Лукин А.Е., Куницкая Д.Е. Особенности окорки длинномерных сортиментов с учетом сбег в окорочных барабанах // Инженерный вестник Дона. 2015. Т. 37. № 3. С. 164.
4. Куницкая О.А., Лукин А.Е., Колесников Г.Н., Тихонов Е.А. Компьютерное моделирование процесса окорки длинномерных лесоматериалов в коротких барабанах // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 9-3 (20-3). С. 263-267.
5. Колесников Г.Н., Доспехова Н.А. Закономерности соударений и качество очистки балансов неодинакового диаметра в корообдирочном барабане // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-15. С. 3328-3331.
6. Васильев С.Б., Колесников Г.Н., Никонова Ю.В., Девятникова Л.А. Моделирование очистки круглых лесоматериалов от коры в установка барабанного типа // Краевые задачи и

математическое моделирование: тематический сб. науч. ст.: в 3 т. Т. 2. / НФИ ГОУ ВПО «КемГУ»; под общ. ред. В.О. Каледина. – Новокузнецк, 2010. С. 222-233.

7. Григорьев И.В., Шапиро В.Я., Гулько А.Е. Математическая модель групповой окорки лесоматериалов в окорочных барабанах // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 154-171.

8. Особенности основных и вспомогательных технологических операций переработки древесины на щепу в дисковых рубительных машинах / Н. А. Доспехова, Г. Н. Колесников, С. Б. Васильев, Б. Г. Марков, Л. А. Девятникова, М. И. Зайцева, Ю. В. Никонова, М. И. Раковская // Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2015. 88 с.

9. Гаврилов Т.А., Паталайнен Л.С., Колесников Г.Н. О ресурсосберегающих технологиях экологически безопасной утилизации древесной коры // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 7 (39). С. 59-64.

10. Лекции по устойчивости стержневых систем / Составитель А. А. Битюрин. - Ульяновск: УлГТУ. 2011. 63 с.

References

1. Baroth R. Literature review of latest development of wood debarking // Report A № 27. Control Engineering Laboratory, University of Oulu. 2005. 29 p. <http://ntsat.oulu.fi/file.php?353>

2. Kunickaja O.A., Lukin A.E. Obosnovanie napravlenija utocnenija matematicheskoj modeli gruppovoj okorki lesomaterialov dlja uslovij okorki dlinномеров // Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). S. 430-433.

3. Kunickaja O.A., Kolesnikov G.N., Lukin A.E., Kunickaja D.E. Osobennosti okorki dlinномерных сортиментов s uchetom sbega v okorochnyh barabanah // Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. Т. 37. № 3. S. 164.

4. Kunickaja O.A., Lukin A.E., Kolesnikov G.N., Tihonov E.A. Komp'juternoe modelirovanie processa okorki dlinномерных лесомaterialов v korotkih barabanah // Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. 2015. Т. 3. № 9-3 (20-3). S. 263-267.

5. Kolesnikov G.N., Dospheva N.A. Zakonomernosti soudarenij i kachestvo ochistki balansov neodinakovogo diametra v koroobdirochnom barabane // Fundamental'nye issledovanija. 2013. № 10-15. S. 3328-3331.

6. Vasil'ev S.B., Kolesnikov G.N., Nikonova Ju.V., Devjatnikova L.A. Modelirovanie ochistki kruglyh лесомaterialов ot kory v ustanovka barabannogo tipa // Kraevye zadachi i matematicheskoe modelirovanie: tematicheskij sb. науч. ст.: в 3 т. Т. 2. / NFI GOU VPO «КемГУ»; под обshh. ред. V.O. Kaledina. – Novokuzneck, 2010. S. 222-233.

7. Grigor'ev I.V., Shapiro V.Ja., Gul'ko A.E. Matematicheskaja model' gruppovoj okorki лесомaterialов v okorochnyh barabanah // Nauchnoe obozrenie. 2012. № 4. S. 154-171.

8. Osobennosti osnovnyh i vspomogatel'nyh tehnologicheskijh operacij pererabotki drevesiny na shhepu v diskovyh rubitel'nyh mashinah / N. A. Dospheva, G. N. Kolesnikov, S. B. Vasil'ev, B. G. Markov, L. A. Devjatnikova, M. I. Zajceva, Ju. V. Nikonova, M. I. Rakovskaja // Petrozavodsk : Izdatel'stvo PetrGU, 2015. 88 s.

9. Gavrilov T.A., Patalajnen L.S., Kolesnikov G.N. O resursosberegajushhijh tehnologijah jekologicheskij bezopasnoj utilizacii drevesnoj kory // Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii. 2014. № 7 (39). S. 59-64.

10. Lekcii po ustojchivosti sterzhnevnyh sistem / Sostavitel' A. A. Bitjurin. - Ul'janovsk: UIGTU. 2011. 63 s.