

Моделирование напряжений и деформаций коры длинномерных сортиментов при их изгибе

Г.Н. Колесников^{1а}, О.А. Куницкая^{2b}, И.В. Григорьев^{2с}, М.В. Степанищева^{3d}, А.О. Борматенко^{3е}

¹Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина 33, Петрозаводск, Республика Карелия

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, пер. Институтский 5, Санкт-Петербург, Россия

³Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^аkgn@petersu.ru, ^бola.ola07@mail.ru, ^сsilver73@inbox.ru, ^дmarina01031977@inbox.ru, ^еblp@mail.ru

Статья поступила 10.12.2016, принята 18.01.2017

Информация о напряженно-деформированном состоянии коры необходима для обоснования рекомендаций по совершенствованию технологических операций заготовки, транспортировки и переработки древесины. Новое направление исследований в данной области связано с использованием укороченных барабанов для очистки длинномерных сортиментов от коры. Установлено, что при окорке длинномеров имеет место интенсификация процесса отделения коры за счет ее ускоренного разрушения в сжатых зонах. Однако теория очистки длинномеров от коры отличается большей сложностью по сравнению с теорией окорки короткомерных балансов и разработана в меньшей степени. В статье предлагается модель деформированного состояния участка коры в виде стержня на упругом основании. При этом функции упругого основания выполняют слой камбия и луб (при его наличии). Цель данной работы — обосновать методику моделирования напряжений и деформаций коры длинномерных сортиментов при их изгибе. Для решения поставленной задачи использована теория балок, изготовленных из различных материалов. Получена верхняя оценка нормальных напряжений участка коры при изгибе круглых сортиментов. Практическое значение полученного соотношения не исчерпывается применением при обосновании рекомендаций по очистке длинномерных сортиментов с учетом их изгиба, который также имеет место при транспортировке и других технологических операциях с длинномерными сортиментами. Кроме того, в естественных условиях ствол и ветви дерева также сопротивляются изгибу. Поэтому результаты, представленные в данной статье, могут быть использованы при оценке устойчивости деревьев к воздействию ветра и при решении других задач рационального использования биомассы древесины.

Ключевые слова: круглые лесоматериалы; изгиб; кора; напряжения; деформации; очистка от коры.

Modeling of stresses and deformations of bark of bent long wood

G.N. Kolesnikov^{1а}, O.A. Kunitskaya^{2b}, I.V. Grigorev^{2с}, M.V. Stepanischeva^{3d}, A.O. Bormatenko^{3е}

¹Petrozavodsk State University, 33, Lenin per., Petrozavodsk, Russia

²St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, 5, Institutsky per., St. Petersburg, Russia

³Bratsk State University, 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^аkgn@petersu.ru, ^бola.ola07@mail.ru, ^сsilver73@inbox.ru, ^дmarina01031977@inbox.ru, ^еblp@mail.ru

The article was received 10.12.2016, adopted 18.01.2017

The information on bark deflected mode is necessary to justify the recommendations on the improvement of harvesting operations, wood transportation and processing. A new direction of the research in this area involves the use of short reels for stripping bark from long wood. It was found that when barking long wood, the intensification of bark separation process by accelerating the destruction of the crust in compressed zones occurs. However, the theory of long wood barking is more complex than the theory of short wood barking and developed to a lesser extent. The paper proposes a model of a deformed bark section in the form of a rod on the elastic foundation. Herewith, the layer of cambium and the phloem function as an elastic base. The purpose of this work is to justify the methodology of stress simulation and crust deformation of bent long wood. To solve this task, the theory of beams made of different materials is used. The upper bound of normal stresses in bending section of round wood bark has been estimated. Practical importance of this relation is not limited to its use when justifying the recommendations on long wood barking subject to its bending. Bending of long wood must be taken into account during transportation and other technological operations. Furthermore, in vivo the trunk and branches of a tree resist bending. Therefore, the results presented in this article can be used to assess the wind resistance of trees and solve other problems of the rational use of wood biomass.

Keywords: round wood; bending; crust; stress; deformation; barking.

Ведение

Информация о напряженно-деформированном состоянии коры необходима для обоснования рекомендаций по совершенствованию технологических операций заготовки древесины [1], транспортировки [2], очистки от коры [4; 5] и в других случаях. Новое направление исследований в данной области связано с использованием укороченных барабанов для очистки длинномерных сортиментов от коры. В исследовании [5; 6] установлено, что при окорке длинномеров имеет место интенсификация процесса отделения коры за счет ее ускоренного разрушения в сжатых зонах. Сжатые зоны появляются по причине изгиба длинномеров, дополняя сжатие от соударений сортиментов друг с другом и с внутренней поверхностью корпуса корообдирочного барабана. Заметим, что при очистке от коры коротких сортиментов, например длиной 120 см, деформациями изгиба сортиментов правомерно пренебрегают по причине их большой изгибной жесткости.

Актуальность данной работы объясняется тем, что теория технологических процессов очистки длинномеров от коры отличается большей сложностью по сравнению с теорией окорки короткомеров и по причине своей новизны разработана в меньшей степени. Насколько известно авторам, первые методики и результаты моделирования в данной области предложены в монографии [7, с. 46–57], в которой приведен обзор исследований очистки от коры длинномеров и коротких сортиментов, а также обоснована применительно к длинномерам модель деформированного состояния участка коры в виде стержня на упругом основании. При этом функции упругого основания выполняют слой камбия и луб (при его наличии). Таким образом, условие применимости данной модели — наличие деформируемого слоя под корой, что предполагает достаточную влажность древесины. Адекватность результатов моделирования подтверждена их согласованностью с опытными данными и численными экспериментами, выполненными с применением комплекса конечно-элементного анализа ANSYS [8; 9].

Цель данной работы: с учетом полученных ранее результатов [10] обосновать методику моделирования напряжений и деформаций коры длинномерных сортиментов при их изгибе.

Методика и результаты исследования. Для достижения указанной выше цели использована теория балок, изготовленных из различных материалов [11]. Модель сортимента представляет собой балку из двух материалов (древесина и кора) с поперечным сечением в форме круга, радиус которого равен R . Пусть h — толщина слоя коры. Тогда $h = R - r$ (рис. 1).

На начальной стадии окорки центр тяжести поперечного сечения можно считать совпадающим с центром указанного выше круга. Это предположение приближенно выполняется в течение всего процесса окорки, поскольку по мере обработки сортимента в корообдирочном барабане $h \rightarrow 0$, и влияние неравномерности распределения коры по периметру сечения на положение центра тяжести исчезает.



Рис. 1. Поперечное сечение сортимента

Для практического применения указанной выше теории необходимы следующие данные: M — изгибающий момент в балке; E_1 и E_2 — соответственно модули упругости древесины и коры; $I_1 = \pi r^4/4$ и $I_2 = (R^4 - r^4)\pi/4$ — соответственно моменты инерции площади круга радиусом R и площади кольца с внешним радиусом R и внутренним радиусом r ; y — расстояние от центра круга до точки, в окрестности которой вычисляется нормальное напряжение; $\sigma_{x1}^{(y)}$ и $\sigma_{x2}^{(y)}$ — соответственно нормальное напряжение в древесине и в коре в точках на расстоянии y от центра тяжести сечения. Тогда можно показать, что:

$$\sigma_{x1}^{(y)} = \frac{MyE_1}{E_1I_1 + E_2I_2}, \quad 0 \leq y \leq r; \quad (1)$$

$$\sigma_{x2}^{(y)} = \frac{MyE_2}{E_1I_1 + E_2I_2}, \quad r \leq y \leq R. \quad (2)$$

Определим, как соотносятся значения напряжений в коре (2) и в древесине (1) в точках, примыкающих к камбиальному слою, т. е. найдем соотношение $\sigma_{x2}^{(y)}$ и $\sigma_{x1}^{(y)}$ при $y = r$:

$$\frac{\sigma_{x2}^{(r)}}{\sigma_{x1}^{(r)}} = \frac{E_2}{E_1}. \quad (3)$$

Например, если при изгибе поперек волокон модули упругости древесины и коры равны соответственно $E_1 \approx 10000 \text{ МПа}$ и $E_2 \approx 1000 \text{ МПа}$ [12], то нормальные напряжения в коре вблизи камбиального слоя $\sigma_{x2}^{(r)} \approx 0,1\sigma_{x1}^{(r)}$. Напряжения в коре не являются пренебрежимо малыми, поскольку предел прочности коры как при сжатии вдоль волокон, так и при изгибе поперек них относительно небольшой и обычно не превышает 5 МПа. Прочность с увеличением влажности уменьшается.

В точках на периметре коры напряжения $\sigma_{x2}^{(R)}$ незначительно возрастают по сравнению с напряжениями $\sigma_{x2}^{(r)}$ вблизи камбиального слоя:

$$\frac{\sigma_{x2}^{(R)}}{\sigma_{x2}^{(r)}} = \frac{R}{r}. \quad (4)$$

Используя (3) и (4), выразим наибольшие значения нормальных напряжений в коре $\sigma_{x2}^{(R)}$ через наибольшие значения нормальных напряжений в древесине сортимента $\sigma_{x1}^{(r)}$:

$$\sigma_{x2}^{(R)} = \sigma_{x1}^{(r)} \frac{R E_2}{r E_1}. \quad (5)$$

Практическое значение полученного соотношения (5) заключается в том, что при обосновании рекомендаций по очистке длинномерных сортиментов с учетом их изгиба можно на предварительной стадии выполнить расчет сортимента без учета влияния коры, определив тем самым $\sigma_{x1}^{(r)}$, затем найти наибольшие напряжения в коре (5), и полученные значения напряжений использовать для анализа деформаций участка коры с учетом указанного выше упругого основания данного участка.

Обсуждение и выводы

Соотношение (5) позволяет вычислить верхнюю оценку нормальных напряжений участка коры при изгибе круглых сортиментов. Зная эти напряжения, можно исследовать деформированное состояние того же участка по методике, достаточно подробно описанной в цитированной выше монографии [7, с. 46–57].

В цитируемой монографии теоретически и экспериментально показано, что деформирование и разрушение при изгибе начинаются в зоне сжатия, что визуально идентифицируется как волнообразная поверхность коры. Предсказываемое теорией появление волнообразной поверхности в сжатой зоне коры может не определяться визуально, если изгибная жесткость сортимента достаточно большая.

Практическое значение полученного соотношения (5) не исчерпывается применением при обосновании рекомендаций по очистке длинномерных сортиментов с учетом их изгиба. Изгиб длинномерных сортиментов имеет место при их транспортировке и в других технологических операциях. Кроме того, в естественных условиях ствол и ветви дерева также сопротивляются изгибу. Поэтому результаты, представленные в данной статье, дополняют монографию [7] и могут быть использованы при оценке устойчивости деревьев к воздействию ветра и при решении других лесохозяйственных задач [13; 14] и задач рационального использования биомассы древесины.

Литература

1. Григорьев И.В., Макуев В.А., Шапиро В.Я., Рудов М.Е., Никифорова А.И. Расчет показателей процесса уплотнения почвогрунта при трелевке пачки хлыстов // Вестн. Моск. гос. ун-та леса - Лесной вестник. 2013. № 2 (94). С. 112-118.
2. Воронин И.А. Специфика разработки моделей и методов транспортировки круглых лесоматериалов // Наука, образование, инновации в приграничном регионе: материалы республ. науч.-практической конф. Петрозаводск, 2015. С. 28-30.
3. Васильев С.Б., Доспехова Н.А., Колесников Г.Н. Численное моделирование взаимодействия еловых балансов неодинакового диаметра в корообдирочном барабане // Resources and Technology. 2013. Т. 10, № 1. С. 24-38.
4. Газизов А.М., Григорьев И.В., Гумерова О.М. Повышение качества окорки лесоматериалов // Вестн. Крас. гос. агр. ун-та. 2009. № 10. С. 132-140.

5. Куницкая О.А., Колесников Г.Н., Лукин А.Е., Куницкая Д.Е. Особенности окорки длинномерных сортиментов с учетом сбега в окорочных барабанах // Инженерный вестник Дона. 2015. Т. 37, № 3. С. 164.

6. 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.

7. Куницкая О.А., Колесников Г.Н., Лукин А.Е., Григорьев И.В. Повышение эффективности групповой окорки длинномерных лесоматериалов. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. 107 с.

8. 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.

9. Куницкая О.А., Лукин А.Е., Колесников Г.Н., Тихонов Е.А., Тюрикова Т.В. Численное моделирование процесса окорки длинномерных сортиментов в барабанах // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2016. № 3 (351). С. 135-146. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.135.

10. Колесников Г.Н., Григорьев И.В., Лукин А.Е., Куницкая О.А. Теоретический анализ особенностей групповой окорки длинномерных лесоматериалов // Resources and Technology. 2016. Т. 13, № 2. С. 59-65. DOI: 10.15393/j2.art.2016.3301.

11. Тимошенко С.П., Гере Д.М. Механика материалов: пер. с англ. М.: Мир, 1976. 669 с.

12. Куницкая О.А., Хитров Е.Г., Ильюшенко Д.А. Уплотнение древесных материалов под действием ударной нагрузки // Научное обозрение 2012. № 4. С. 121-128.

13. Григорьева О.И. Формирование рубками ухода сосновых насаждений повышенной устойчивости и ценности в условиях Ленинградской области: автореф. дис. ... канд. с/х наук. СПб., 2005. 22 с.

14. Григорьева О.И. Влияние сильных разреживаний и удобрений на компоненты лесной экосистемы // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2006. № 13. С. 157-160.

References

1. Grigor'ev I.V., Makuev V.A., Shapiro V.Ya., Rudov M.E., Nikiforova A.I. Calculation of parameters of process of condensation of ground at logging the pack of fuel-length logs // Forestry bulletin. 2013. № 2 (94). P. 112-118.
2. Voronin I.A. The specifics of the development of models and methods of transportation of round timber // Nauka, obrazovanie, innovatsii v prigranichnom regione: materialy respubl. nauch.-prakticheskoi konf. Petrozavodsk, 2015. P. 28-30.
3. Vasil'ev S.B., Dospekhova N.A., Kolesnikov G.N. Simulation of Unequal Diameter Spruce Pulpwood Interaction in Debarking Drum // Resources and Technology. 2013. Т. 10, № 1. P. 24-38.

4. Gazizov A.M., Grigor'ev I.V., Gumerova O.M. Improving the quality of debarking wood // The Bulletin of KrasGAU. 2009. № 10. P. 132-140.
5. Kunitskaya O.A., Kolesnikov G.N., Lukin A.E., Kunitskaya D.E. Drum barking of long-cut timber: the effect of tapering in log assortments // Engineering journal of Don E-journal. 2015. T. 37, № 3. P. 164.
6. Kunitskaya O.A., Lukin A.E. Justification clarify the direction of a mathematical model for a group of debarking timber for debarking conditions of length gages // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. T. 3, № 2-2 (13-2). P. 430-433.
7. Kunitskaya O.A., Kolesnikov G.N., Lukin A.E., Grigor'ev I.V. Improving the efficiency of the group debarking of long timber. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2016. 107 p.
8. Kunitskaya O.A., Lukin A.E., Kolesnikov G.N., Tikhonov E.A. Computer modeling of the process of debarking long timber in short drums // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. T. 3, № 9-3 (20-3). P. 263-267.
9. Kunitskaya O.A., Lukin A.E., Kolesnikov G.N., Tikhonov E.A., Tyurikova T.V. Numerical Modeling of Long Logs Barking in the Barking Drums // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal. 2016. № 3 (351). S. 135-146. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.135.
10. Kolesnikov G.N., Grigor'ev I.V., Lukin A.E., Kunitskaya O.A. Theoretical analysis of the characteristics of the group debarking of long timber // Resources and Technology. 2016. T. 13, № 2. P. 59-65. DOI: 10.15393/j2.art.2016.3301.
11. Timoshenko S.P., Gere D.M. Mechanics of Materials: per. s angl. M.: Mir, 1976. 669 p.
12. Kunitskaya O.A., Khitrov E.G., Il'yushenko D.A. Compaction of timber under impact load // Science Review. 2012. № 4. P. 121-128.
13. Grigor'eva O.I. Formation cleaning cutting of pine forests of increased resistance and value in terms of the Leningrad Region: avtoref. dis. ... kand. s/kh nauk. SPb., 2005. 22 p.
14. Grigor'eva O.I. Influence of strong thinning and fertilizer on components of the forest ecosystem // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2006. № 13. P. 157-160.