

УДК 519.876.5

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОУДАРЕНИЙ И КАЧЕСТВО ОЧИСТКИ БАЛАНСОВ НЕОДИНАКОВОГО ДИАМЕТРА В КОРООБДИРОЧНОМ БАРАБАНЕ

Колесников Г.Н., Доспехова Н.А.

ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»,
Петрозаводск, e-mail: kgn@persu.ru

Цель работы – обзор исследований по очистке круглых лесоматериалов от коры и уточнение закономерностей соударений балансов неодинакового диаметра в корообдирочном барабане. Знание этих закономерностей необходимо для совершенствования технологии очистки балансов от коры в целях уменьшения потерь древесины. Как и в монографии Бойкова С.П., соударения балансов в корообдирочном барабане с учетом стохастичности рассматриваются как независимые повторяющиеся испытания по схеме Бернулли. Приняты во внимание геометрические и механические аспекты задачи. Результаты выполненного исследования показывают, что при совместной обработке в корообдирочном барабане балансов неодинакового диаметра более интенсивному воздействию подвергаются балансы меньшего диаметра по сравнению с балансами большего диаметра. Установлена закономерность: уменьшение степени очистки от коры пропорционально квадрату увеличения диаметра. Адекватность результатов исследования подтверждена экспериментальными данными, известными по литературе. Обоснована практическая рекомендация: в целях уменьшения потерь древесины необходимо сортировать балансы по диаметру до загрузки в корообдирочный барабан и обрабатывать балансы в барабане группами, чтобы минимизировать различие диаметров балансов, которые соударяются друг с другом в барабане.

Ключевые слова: балансовая древесина, неодинаковый диаметр, корообдирочный барабан

LAWS OF INTERACTION AND THE QUALITY DEBARKING OF PULPWOOD OF UNEQUAL DIAMETER IN THE DEBARKING DRUM

Kolesnikov G.N., Dosphehova N.A.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: kgn@persu.ru

In this paper, a brief review researches of debarking of pulpwood in a drum and clarifying the patterns of collisions of pulpwood in case unequal diameter of pulpwood are presented. Knowledge of these patterns is necessary to improve the technology of debarking in order to reduce the wood losses. As in the monograph of S.P. Boikov, impact balance sheets in the drum, taking into account the stochasticity, are treated as independent repetitive tests on the Bernoulli scheme. The geometrical and mechanical aspects of the problem are considered. The results of the study show that the in case co-processing of pulpwood with unequal diameters, pulpwood of smaller diameter receive more collisions per unit area compared to the pulpwood of larger diameter. Found, that the change in the degree of purification of the cortex in proportion to the square of the diameter changes. The adequacy of the results of the study confirmed the experimental data known from the literature. Sound practical advice: in order to reduce the wood losses, sorting round wood by diameter is recommended before to loading in the drum. Respectively, pulpwood must be processed by groups, in order to minimize the difference of diameter pulpwood's, which collide with each other in debarking drum.

Keywords: pulpwood, unequal diameter, debarking drum

По определению, балансовая древесина (балансы) – круглые лесоматериалы в виде отрезков ствола дерева, имеют длину, например, 1–3 м и диаметр 8–24 см. Балансы необходимы для производства целлюлозы.

В данной работе используется геометрическая модель баланса в виде прямого кругового цилиндра.

Очистка от коры является необходимым звеном в технологии подготовки круглых лесоматериалов к их дальнейшему использованию. Крупным потребителем круглых лесоматериалов является целлюлозно-бумажная промышленность, где требуется наиболее высокая степень очистки от коры. Развитие технологий очистки круглых лесоматериалов от коры отражено в работах [1, 8–12]. В целлюлозно-бумажной промышленности технология очистки древесины в корообдирочных барабанах остаётся

доминирующей [8–12, 20–22], развиваясь параллельно с роторной [1, 6] и другими технологиями окорки [7, 17].

Большой объем экспериментальных и теоретических исследований по очистке древесины от коры был выполнен в 1970-е годы [21]. Обобщение полученных в эти годы результатов с учетом выполненных до 1980 г. работ, начиная с работы Б.Г. Залегаллера (1949), приведено в монографии С.П. Бойкова [1].

В данной работе рассматривается одна из проблем, источник которой – объективно существующее противоречие требования высокой степени очистки от коры, с одной стороны, и, с другой стороны, необходимости уменьшения потерь древесины при окорке.

Высокая степень очистки балансов от коры достигается увеличением продолжительности их обработки в барабане. Однако

в этом случае с течением времени возрастает число ударов по очищенной от коры поверхности баланса, что ведет к разрушению и потерям древесины. Поэтому необходим компромисс между потерями древесины и степенью очистки от коры [1, 5, 7–9].

Согласно [21], потери древесины при очистке в корообдирочных барабанах могут составлять от 1 до 4%. Это больше, чем при хранении круглых лесоматериалов (от 0,1 до 0,5%), измельчении на щепу и сортировке щепы (от 0,5 до 2,5%), транспортировке щепы (от 0 до 0,5%), хранении щепы (от 0,1 до 1,5%). Некоторые предложения по уменьшению потерь древесины рассмотрены в статьях [10, 13, 15].

Цель данной работы – исследование закономерностей соударений и качества очистки от коры круглых лесоматериалов неодинакового диаметра в корообдирочных барабанах.

Материалы и методы исследования

Многочисленные факторы, влияющие на качество очистки от коры, можно свести к двум параметрам – количеству ударов и силе контактного взаимодействия при соударениях балансов. Соударения балансов, с учетом стохастичности, рассматриваются в [1] как независимые повторяющиеся испытания по схеме Бернулли. При этом вероятность удара по случайно выбранному участку поверхности баланса равна

$$p = \frac{\Delta S}{S}. \quad (1)$$

Здесь ΔS – площадь участка (пятна контакта соударяющихся балансов); S – площадь поверхности баланса. С использованием распределения Пуассона в [1] получена формула для определения вероятности ударов по участку:

$$p(m \geq 1) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Здесь λ – интенсивность соударений (среднее количество ударов по одному участку за единицу времени); t – продолжительность процесса.

Степень очистки от коры принято определять в процентах [21]. Если сила однократного контактного взаимодействия балансов достаточна для разрушения и удаления коры по пятну контакта, то формула (1) определяет зависимость качества окорки от продолжительности обработки и интенсивности соударений λ [1]:

$$C_{deb} = (1 - e^{-\lambda t}) \cdot 100\%. \quad (3)$$

Если для разрушения и удаления коры на рассматриваемом участке необходимо не менее b ударов, то вероятность окорки участка, как показано в [1], равна

$$p(m \geq b) = 1 - e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{b-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!}. \quad (4)$$

Качество (степень) окорки в этом случае $C_{deb} = p(m \geq b) \cdot 100\%$.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим геометрические аспекты задачи. В приведенных выше формулах

(1)–(4) по умолчанию предполагается, что площадь окоряемой поверхности соударяющихся балансов, а значит, и диаметры одинаковы (если балансы не различаются по длине). Рассмотрим соударение балансов 1 и 2 одной и той же длины L , но неодинакового диаметра, D_1 и D_2 соответственно. Очевидно, в формуле (1) величина ΔS будет одной и той же для каждого из этих балансов. При этом $S_1 = \pi D_1 L$ и $S_2 = \pi D_2 L$. Согласно (1)

$$p_1 = \frac{\Delta S}{S_1}; \quad p_2 = \frac{\Delta S}{S_2}. \quad (5)$$

Тогда

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{D_2}{D_1}; \quad p_2 = p_1 \frac{D_1}{D_2}. \quad (6)$$

Обозначим $k_D = D_1/D_2$ и перепишем формулу для p_2 (6) в виде

$$p_2 = p_1 k_D. \quad (7)$$

С помощью коэффициента k_D моделируется влияние только геометрических характеристик и ΔS (5). Формула (6) показывает, что с увеличением диаметра баланса степень его очистки от коры линейно уменьшается. Однако в реальных технологических ситуациях с увеличением диаметра баланса степень очистки уменьшается нелинейно [12]. Это несоответствие указывает на то, что не приняты во внимание некоторые существенные характеристики. Предположим, что такой характеристикой является интенсивность соударений λ в формулах вида (2)–(4). Влияние только изменений интенсивности соударений учтем с помощью некоторого коэффициента k_λ . Тогда, моделируя совместное влияние геометрических и физических характеристик на p_2 (7), запишем:

$$p_2 = p_1 k_D k_\lambda. \quad (8)$$

Чтобы определить k_λ , обратимся к работе [3], в которой показано, что с уменьшением диаметра балансов количество соударений в единицу времени возрастает (примерно линейно). На этом основании можем записать:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{D_2}{D_1}; \quad \lambda_2 = \lambda_1 \frac{D_1}{D_2} = \lambda_1 k_\lambda. \quad (9)$$

Таким образом, коэффициент $k_\lambda = D_1/D_2$ равен указанному выше коэффициенту k_D . Тогда

$$p_2 = p_1 k_D k_\lambda = p_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2. \quad (10)$$

Правомерность такого подхода к учету влияния интенсивности соударений с помощью коэффициента k_λ можно обо-

сноваً следующим образом. Примем во внимание, что

$$e^{-x} = 1 - \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} + \dots \quad (11)$$

Тогда зависимости вида (2) можно аппроксимировать линейными соотношениями:

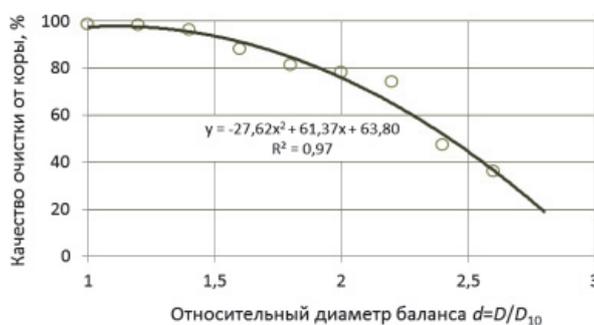
$$p_1(m \geq 1) = 1 - e^{-\lambda_1 t} \approx \lambda_1 t;$$

$$p_2(m \geq 1) = 1 - e^{-\lambda_2 t} \approx \lambda_2 t. \quad (12)$$

Учитывая (9) и (12), получим:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2};$$

$$p_2 = p_1 \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = p_1 \frac{\lambda_1 D_1}{\lambda_1 D_2} = p_1 \frac{D_1}{D_2} = p_1 k_\lambda. \quad (13)$$



Влияние диаметра баланса на качество очистки от коры, $D_{10} = 10$ см

Обсуждение и заключение

Выполненное исследование подтверждает существование закономерности: уменьшение степени очистки от коры пропорционально квадрату увеличения диаметра баланса (10). Поэтому при совместной обработке в корообдирочном барабане балансов неодинакового диаметра более интенсивному воздействию подвергаются балансы меньшего диаметра по сравнению с балансами большего диаметра. Эта закономерность подтверждается известными экспериментальными данными [12] и результатами численного моделирования [3].

Если все балансы будут иметь одинаковый диаметр, то процесс очистки от коры будет наиболее эффективным по затратам времени и по критерию потерь древесины. Объясняется это тем, что площадь боковой поверхности балансов малого диаметра меньше, и, согласно (6) и (7), эти балансы будут освобождены от коры за меньшее число соударений. Очистка же от коры балансов большего диаметра требует, соответственно, большего числа соударений. Если в соударениях участвуют уже очищенные от коры балансы малого диаметра, то разрушается древесина этих балансов. Отсюда следу-

Формула (13) моделирует влияние только физических характеристик балансов на вероятность их соударений. Совместное влияние изменений геометрических и физических характеристик учитывается произведением коэффициентов k_D и k_λ в формулах (8), (10).

Необходимо подчеркнуть, что формулы (8) и (10) не предназначены для вычисления вероятности соударений и степени очистки балансов. Эти формулы отражают только качественные характеристики (закономерности) рассматриваемого процесса.

Результаты экспериментов по исследованию влияния диаметра лесоматериалов на качество окорки приведены в [12]. Эти данные с достаточной точностью аппроксимируются полиномом второй степени (рисунок), что подтверждает адекватность формулы (10).

ет, что необходимо сортировать балансы по диаметру до загрузки в корообдирочный барабан и обрабатывать балансы в барабане группами, чтобы минимизировать различие диаметров загруженных в барабан балансов.

Работа выполнена в рамках реализации комплекса мероприятий Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

Список литературы

1. Бойков С.П. Теория процессов очистки древесины от коры. – Л.: Издательство Ленинградского университета. – 1980. – 152 с.
2. Васильев С.Б., Девятникова Л.А., Колесников Г.Н. Влияние технологии раскря балансовой древесины на фракционный состав щепы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2011. – № 195. – С. 125–133.
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. 024–038.
4. Васильев С.Б., Колесников Г.Н., Никонова Ю.В., Раковская М.И. Влияние локальной жесткости корпуса корообдирочного барабана на изменение силы соударений и величину потерь древесины // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2008. – № 96. – С. 84–91.
5. Васильев С.Б., Колесников Г.Н., Никонова Ю.В., Раковская М.И. Исследование закономерностей изменения силы соударений с целью снижения потерь при окорке древесины в барабане // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2008. – № 185. – С. 195–202.

6. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В. Моделирование процесса разрушения коры при роторной окорке древесины // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2008. – № 5. – С. 271–279.

7. Гаспарян Г.Д. Основы метода и технологии ультразвуковой окорки круглых лесоматериалов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6 (часть 1). – С. 19–23.

8. Григорьев И., Локштанов Б., Куницкая О., Гулько А. Повышение эффективности групповой механической окорки лесоматериалов // ЛесПромИнформ. – 2013. – № 3 (93). – С. 72–76. <http://www.lesprominform.ru>.

9. Григорьев И., Локштанов Б., Куницкая О., Гулько А. Повышение эффективности групповой механической окорки лесоматериалов. Ч. 2. Основные типы окорочных барабанов // Лес Пром Информ. – 2013. – № 4 (94). – С. 92–96. <http://www.lesprominform.ru/>

10. Григорьев И., Локштанов Б., Куницкая О., Гулько А. Повышение эффективности групповой механической окорки лесоматериалов. Часть 3. Конструктивные элементы окорочных барабанов // ЛесПромИнформ. – 2013. – № 5 (95). – С. 94–98. <http://www.lesprominform.ru>.

11. Григорьев И., Локштанов Б., Куницкая О., Гулько А. Повышение эффективности групповой механической окорки лесоматериалов. Ч. 4. Технологические характеристики процесса сухой окорки в барабанах // Лес Пром Информ. – 2013. – № 6 (96). – С. 76–78. <http://www.lesprominform.ru>.

12. Григорьев И., Локштанов Б., Куницкая О., Гулько А. Повышение эффективности групповой механической окорки лесоматериалов. Часть 5. Размеры окориваемых лесоматериалов // Лес Пром Информ. – 2013. – № 7 (97). – С. 80–82. <http://www.lesprominform.ru>.

13. Девятникова Л.А. Потенциал ресурсосбережения в технологии подготовки круглых лесоматериалов к переработке на щепу // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 88. – № 88–88(04). – С. 188–206.

14. Девятникова Л.А., Васильев С.Б., Колесников Г.Н. Влияние технологии раскряга балансов на фракционный состав щепы // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2012. – № 3. – С. 120–124.

15. Девятникова Л.А., Емельянова Е.Г. Пути повышения эффективности использования древесного сырья на целлюлозно-бумажных комбинатах // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2012. – Т. 2. – № 8 (129). – С. 65–68.

16. Никонова Ю.В. Обоснование конструктивно-технологических параметров корообдирочных барабанов с применением численного моделирования динамического взаимодействия балансов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Петрозаводск, 2009. – 20 с.

17. Оскерко В.Е. Новый принцип окорки лесоматериалов // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 3. – С. 13–16.

18. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Гулько А.Е. Анализ методов расчета параметров и обоснование математической модели разрушения коры при групповой окорке древесины // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2011. – № 8. – С. 92–96.

19. Шегельман И.Р., Колесников Г.Н., Васильев А.С., Никонова Ю.В. Моделирование технологического процесса очистки древесины в корообдирочном барабане с применением метода дискретных элементов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2008. – № 184. – С. 172–179.

20. Baroth R. Literature review of the latest development of wood debarking // University of Oulu, Control Engineering Laboratory, 2005. – 29 pp.

21. Isokangas, Ari. Analysis and management of wood room // University of Oulu, Oulu 2010. 115 pp. <http://jultika.oulu.fi/Record/isbn978-951-42-6261-6>.

22. Öman M. Influence of log characteristics on drum debarking of pulpwood // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2000. – Т. 15. – № 4. – С. 455–463.

References

1. Boykov S.P. *The theory of processes of wood debarking*. Leningrad. 1980.

2. Vasilyev S.B., Devyatnikova L.A., Kolesnikov G.N. *Proceedings of Saint-Petersburg State Forest Technical Academy*. 2011, no. 195, pp. 125–133.

3. Vasilyev S.B., Dospekhova N.A., Kolesnikov G.N. *Resources and Technology*. 2013, no. 10(1), pp. 024–038.

4. Vasilyev S.B., Kolesnikov G.N., Nikonova Ju.V., Rakovskaya M.I. *Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences*, 2008, no. 96, pp. 84–91.

5. Vasilyev S.B., Kolesnikov G.N., Nikonova Ju.V., Rakovskaya M.I. *Proceedings of Saint Petersburg State Forest Technical University*, 2008, no. 185, pp. 195–202.

6. Gazizov, A.M., Shapiro, V. Ja., Grigoriev, I.V. *Vestnik Krasnojarskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 2008, no. 5, pp. 271–279.

7. Gasparyan G. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2013, no. 6(1), pp. 19–23.

8. Grigoryev I., Lokshtanov B., Kunitskaya O., Gulko A. *Les PromInform*, 2013, no. 3(93), pp. 72–76. <http://www.lesprominform.ru>.

9. Grigoryev I., Lokshtanov B., Kunitskaya O., Gulko A. *Les Prom Inform*, 2013, no. 4(94), pp. 92–96. <http://www.lesprominform.ru>.

10. Grigoryev I., Lokshtanov B., Kunitskaya O., Gulko A. *LesPromInform*, 2013, no. 5(95), pp. 94–98. <http://www.lesprominform.ru>.

11. Grigoryev I., Lokshtanov B., Kunitskaya O., Gulko A. *LesPromInform*, 2013, no. 6(96), pp. 76–78. <http://www.lesprominform.ru>.

12. Grigoryev I., Lokshtanov B., Kunitskaya O., Gulko A. *LesPromInform*, 2013, no. 7(97), pp. 80–82. <http://www.lesprominform.ru>.

13. Devyatnikova L.A. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, 2013, no. 88, pp. 188–206.

14. Devyatnikova L.A., Vasilyev S.B., Kolesnikov G.N. *Bulletin of the MSFU – Lesnoi Vestnik*. M: Publishing house of the MSFU, 2012, no. 3, pp. 120–124.

15. Devyatnikova L.A., Emelyanova E.G. *Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences*, 2012, no. 8(129), pp. 65–68.

16. Nikonova Ju.V. *Justification of design and technological parameters of debarking drums using numerical modeling of the dynamic interaction of pulpwood*: PHD-diss. Petrozavodsk, 2009.

17. Oskerko V.E. *Building and road machines*, no. 3, 2007, pp. 13–16.

18. Shapiro V.Ya., Grigoryev I.V., Gulko A.E. *Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences*, 2011, no. 8, pp. 92–96.

19. Shegelman I.R., Kolesnikov G.N., Vasilyev S.B., Nikonova Ju.V. *Proceedings of Saint-Petersburg State Forest Technical Academy*. 2008, no. 184, pp. 172–179.

20. Baroth R. *Literature review of the latest development of wood debarking*. University of Oulu, Control Engineering Laboratory, 2005. 29 pp.

21. Isokangas, Ari. *Analysis and management of wood room*. University of Oulu, 2010. 115 pp. <http://jultika.oulu.fi/Record/isbn978-951-42-6261-6>.

22. Öman M. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2000, vol. 15, no. 4, pp. 455–463.

Рецензенты:

Сюнёв В.С., д.т.н., профессор, директор Института рационального природопользования на Европейском Севере, г. Петрозаводск; Малинов Г.И., д.т.н., профессор кафедры механизации сельскохозяйственного производства, ФБГОУ ПетрГУ, г. Петрозаводск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.