

УДК 674.093

Е. А. Мухурова, С. В. Шетько, А. А. Янушкевич
 Белорусский государственный технологический университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КРИВИЗНЫ БРЕВЕН

Основными сортообразующими пороками лиственной древесины (березы, осины, ольхи) являются сучки и кривизна ствола. На объемный выход пилопродукции оказывает влияние наличие в пиловочном сырье кривизны. Считается, что каждый процент кривизны приводит к снижению объемного выхода пиломатериалов на 8–10%.

Целью исследований является разработка математической модели и программного обеспечения для фиксации индивидуальных особенностей бревен.

Для решения задачи проанализирована работа измерительного комплекса для определения размерных параметров бревна и его кривизны.

Измерительный комплекс, разработанный в БГТУ, состоит из двух линейных видеокамер с помещенными в центре объективов точечными источниками света и двух панелей с нанесенным на них световозвращающим покрытием.

В основу принципа измерений бревен положено фиксирование линейными видеокамерами двух теней объекта на световозвращающих покрытиях в сходящихся лучах. С помощью персонального компьютера рассчитывается диаметр и центр круга, вписанного в четырехугольник, образованный пересечением крайних лучей на границах теней.

Определение диаметра сечения объекта измерения сводится к расчету радиуса окружности бревна. За расчетный радиус принято среднее значение радиусов четырех окружностей, ограниченных тремя касательными.

Измерительный комплекс может использоваться как самостоятельное устройство перед бревнопильным оборудованием для учета и оптимизации раскроя бревен, а также в составе сортировочной линии для круглых лесоматериалов в качестве управляющего модуля.

Ключевые слова: измерительный комплекс, лиственная древесина, кривизна, стрела прогиба, технология.

Ye. A. Mukhurova, S. V. Shet'ko, A. A. Yanushkevich
 Belarusian State Technological University

PERFECTION OF MATHEMATICAL, MEASURING COMPLEX FOR REGISTRATION CARVATURE LOG

The main varieties of forming defects hardwood (birch, aspen, alder) are the knots and the curvature of the barrel. On the volume of sawn timber output affects the presence of saw logs raw curvature. It is believed that each percent decrease in curvature leads to a volumetric output of lumber for 8–10%.

The purpose of research is to develop mathematical models and software for fixing the individual characteristics of the logs.

To solve the problem Analyze Wang operation of measurement system to determine the size of the log parameters and its curvature.

Measuring complex developed in BSTU consists of two linear video cameras with lenses placed in the center of point light sources and the two panels are coated with a reflective coating

The basis of measurement principle laid fixing those two linear cameras, it objects to the retroreflective sheeting in a convergent light. With the help of a personal computer and the calculated diameter of the center of the circle inscribed in the quadrilateral formed by the intersection of extreme rays at the boundaries of the shadow.

Determination of the measurement object-sectional diameter is reduced to the calculation of the radius of the circle. For the current range accepted average value of the radii of four circles, limited by three tangents.

Measuring complex can be used as a standalone device before brevnopilnye equipment to accommodate and optimize the cutting of logs, as well as a part of a sorting line for round timber as a control module.

Key words: measuring system, hardwood, curvature, sag, technology.

Введение. Современные направления развития народного хозяйства основываются на комплексном использовании сырьевых ресур-

сов страны с учетом создания новых видов высококачественной продукции на базе применения достижений научно-технического

прогресса и разработки ресурсосберегающих технологий.

В результате интенсивного использования древесины хвойных пород ее эксплуатационные запасы существенно сократились. Для расширения сырьевой базы Республики Беларусь в переработку вовлекается древесина лиственных пород.

Основными сортообразующими пороками лиственной древесины (березы, осины, ольхи) являются сучки и кривизна ствола. На объемный выход пилопродукции оказывает влияние наличие в пиловочном сырье кривизны. Считается, что каждый процент кривизны приводит к снижению объемного выхода пиломатериалов на 8–10% [1].

Сравнительно низкое качество мягколиственной древесины требует соблюдения определенной технологии ее переработки. Проведенные ранее исследования [2, 3] позволили обосновать перспективную технологию раскроя лиственных бревен, которая включает:

- сканирование бревна и регистрацию его размеров и особенностей формы ствола;
- виртуальный раскрой бревна на пилопродукцию целевого назначения (по заданной спецификации);
- выбор оптимальной схемы раскроя с учетом размеров и особенностей формы ствола;
- сортировку и распиловку бревна по оптимальным схемам, обеспечивающим наибольший объемный выход пилопродукции целевого назначения.

Реализация такой технологии возможна при наличии измерительного устройства и специальных технологических программ, которые в совокупности позволяют фиксировать размерные и качественные характеристики бревна, а именно стрелу прогиба.

Основная часть. Измерительный комплекс, разработанный в БГТУ [4] (рис. 1), состоит из двух линейных видеокамер с помещенными в центре объективов точечными источниками света (I) и двух панелей с нанесенным на них световозвращающим покрытием (retro-reflective heetings) (2).

Световые лучи от точечного источника попадают на световозвращающее покрытие и возвращаются назад в объектив, если измеряемый объект их не перекрывает.

В основу принципа измерений положено фиксирование линейными видеокамерами двух теней объекта на световозвращающих покрытиях в сходящихся лучах. Затем с помощью персонального компьютера рассчитываются диаметр и центр круга, вписанного в четырехугольник, образованный пересечением крайних лучей на границах теней.

Преимуществом такого измерителя является применение интегральных монолитных микросхем фотоприемников и двух точечных источников света вместо протяженных источников, замененных световозвращающим покрытием, что приводит к упрощению конструкции, повышает технологичность изготовления и облегчает встраиваемость в действующие системы.

Техническая характеристика измерительного комплекса:

- диаметр измеряемых бревен, см – 6–60
- погрешность измерения диаметра, мм – ± 1
- скорость перемещения конвейера, м/с – до 1
- потребляемая мощность, Вт – 400.

Для определения диаметров для этой измерительной системы было создано оригинальное математическое обеспечение. Основой для расчетов является схема, которая приведена на рис. 2.

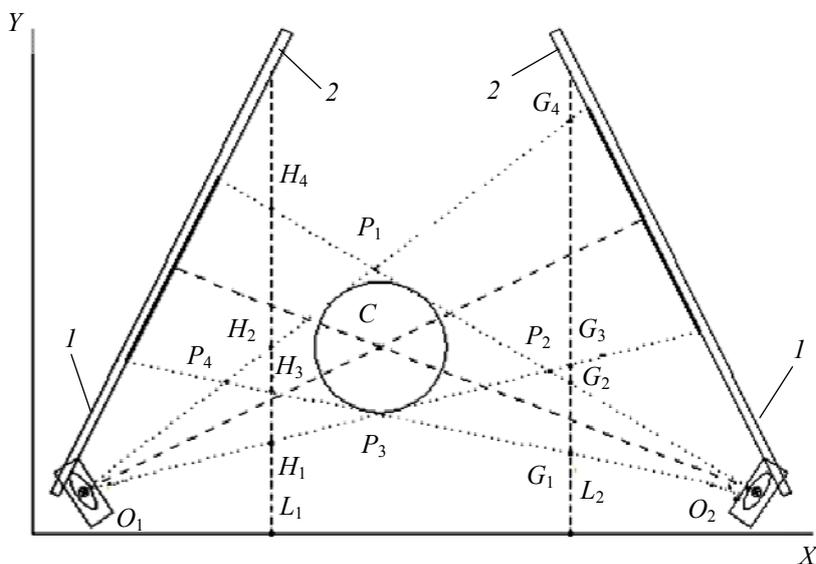


Рис. 1. Расчетная схема измерителя

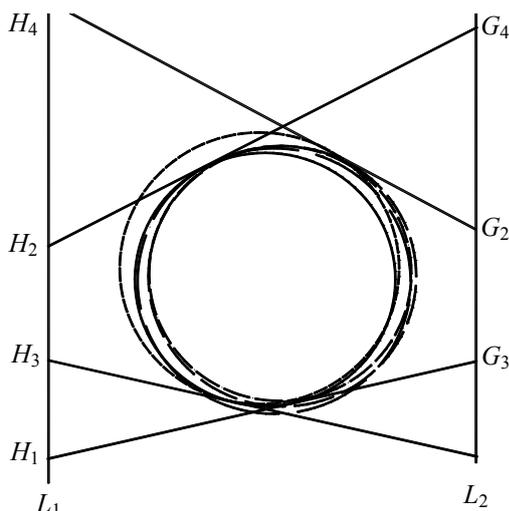


Рис. 2. Схема определения радиусов и центра сечения для реального бревна

Определение диаметра сечения объекта измерения сводится к расчету радиуса окружности. За расчетный радиус принято среднее значение радиусов четырех окружностей, ограниченных тремя касательными:

$$H_4G_2 - H_1G_3 - H_2G_4, H_4G_2 - H_1G_3 - H_3G_1, \\ H_3G_1 - H_1G_3 - H_2G_4, H_4G_2 - H_2G_4 - H_3G_1.$$

Две вертикальные линии с координатами L_1 и L_2 – это виртуальные линейки, которые получены при калибровке измерительного комплекса, а $H_1, H_2, H_3, H_4, G_1, G_2, G_3, G_4$ – координаты тени объекта на этих линейках.

Определение радиусов (R_i) и координат центров окружностей ($X_i; Y_i$) сводится к решению систем уравнений (1):

$$R_1, X_1, Y_1 = \begin{cases} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{cases} \quad R_2, X_2, Y_2 = \begin{cases} d_1 \\ d_2 \\ d_4 \end{cases} \quad (1) \\ R_3, X_3, Y_3 = \begin{cases} d_1 \\ d_3 \\ d_4 \end{cases} \quad R_4, X_4, Y_4 = \begin{cases} d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{cases}$$

где d_1, d_2, d_3, d_4 – расстояние от точки (предполагаемый центр окружности) до прямой (касательной к этой окружности).

Расстояние от предполагаемого центра окружности до касательной к этой окружности определяется по следующей формуле:

$$d_i = \frac{AX_i + BY_i + C}{\pm\sqrt{A^2 + B^2}}, \quad (2)$$

где в числителе – уравнение прямых $H_1G_3, H_2G_4, H_3G_1, H_4G_2$ в общем виде

$$(G_3 - H_1)X_1 - (L_2 - L_1)Y_1 + H_1(L_2 - L_1) - L_1(G_3 - H_1) = 0;$$

$$(G_4 - H_2)X_1 - (L_2 - L_1)Y_1 + H_2(L_2 - L_1) - L_1(G_4 - H_2) = 0; \\ (G_1 - H_3)X_1 - (L_2 - L_1)Y_1 + H_3(L_2 - L_1) - L_1(G_1 - H_3) = 0; \\ (G_2 - H_4)X_1 - (L_2 - L_1)Y_1 + H_4(L_2 - L_1) - L_1(G_2 - H_4) = 0.$$

Расчетный радиус определяем по формуле

$$R = 0,25 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4). \quad (3)$$

Расчетные координаты центра окружности по формулам

$$X = 0,25 (X_1 + X_2 + X_3 + X_4); \quad (4)$$

$$Y = 0,25 (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4). \quad (5)$$

В расчетах приняты:

площадь поперечного сечения $S = \pi R^2$;

$$\text{длина бревна } L = \sum_{k=1}^{N-1} l_k;$$

$$\text{объем бревна } V = 0,5 \sum_{k=1}^{N-1} (S_k + S_{k+1}) l_k,$$

где l_k – расстояние между сечениями S_k и S_{k+1} ; N – число сечений S_k (рис. 3).

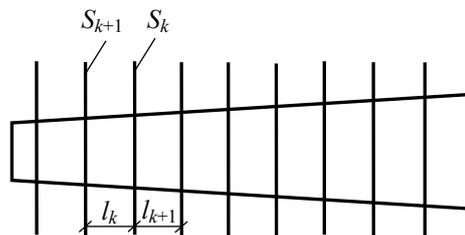
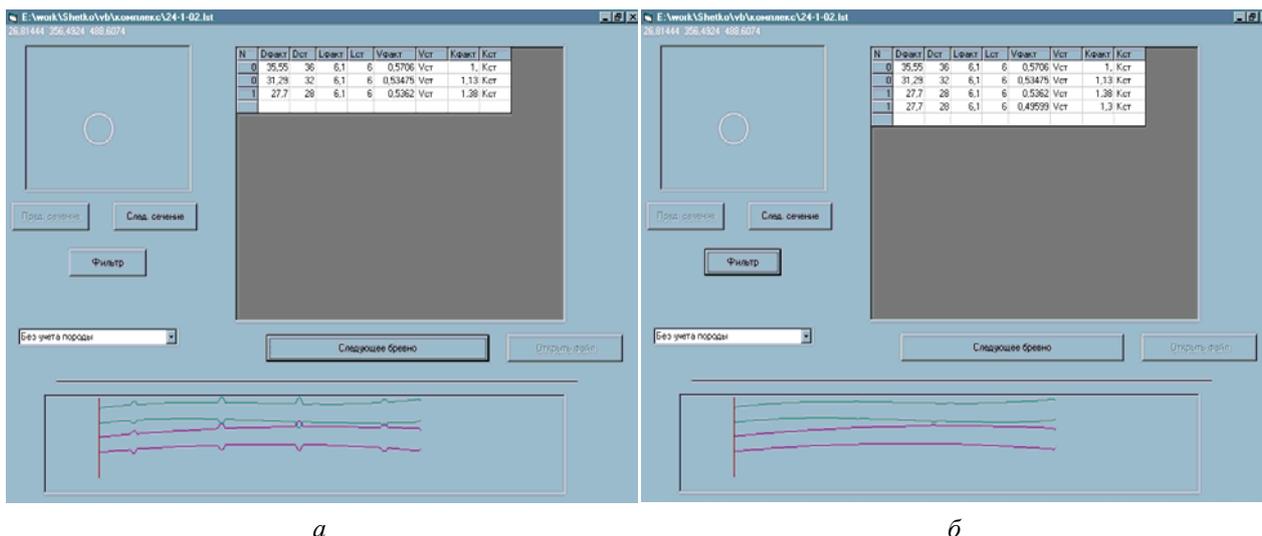


Рис. 3. Расчетная схема бревна

Измерительный комплекс фиксирует координаты теней объекта (бревна) через каждые 5 см его длины. Совокупность координат позволяет построить образующую бревна. Используя разработанную математическую модель, создали программу по обработке координат теней объекта и расчета диаметра, длины, объема, коэффициента сбега и кривизны бревна. Окно программы представлено на рис. 4.

Программа обрабатывает координаты теней сканированного бревна, которые фиксировались сканером через каждые 5 см. Нажатие кнопки «Следующее сечение» передвигает курсор на 5 см вдоль продольной оси бревна. Кнопка «Фильтр» убирает скачки диаметра бревна в местах траверс конвейера. Кнопка «Следующее бревно» переходит к следующему массиву данных, которые получены при сканировании очередного сортимента. В правом углу окна программы отображается таблица с рассчитанными значениями диаметра, длины, объема, коэффициента сбега.

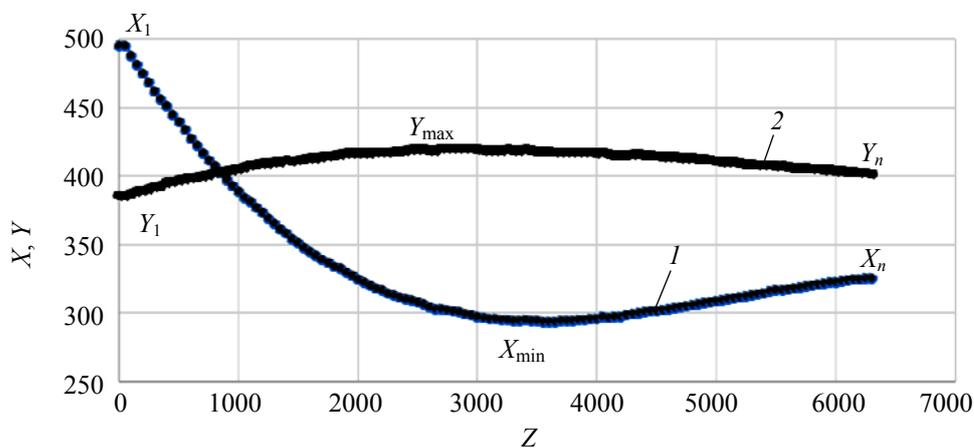


а

б

Рис. 4. Окно программы к измерительному комплексу:

а – рисунок сканируемого бревна с отображением скачков диаметра в местах расположения траверс;
 б – сглаживание профиля бревна (кнопка «Фильтр»)

Рис. 5. Проекция бревна на плоскостях XZ и YZ

Программа позволяет получить данные для определения кривизны бревна, а именно стрелы прогиба в плоскостях XZ и YZ .

На примере конкретного бревна рассмотрим алгоритм определения стрелы прогиба бревна. Возьмем бревно диаметром 23 см и длиной 6,3 м. Для данного бревна представим проекции образующих на плоскостях XZ и YZ на рис. 5.

Стрела прогиба определяется по формулам

$$f_{YZ} = y_{\max} - \frac{(y_1 + y_n)}{2}; \quad (6)$$

$$f_{XZ} = \frac{(x_1 + x_n)}{2} - x_{\min}, \quad (7)$$

где x_1, y_1 – координата начала кривизны; x_n, y_n – координата конца кривизны; x_{\min} и y_{\max} – координаты точки максимального прогиба бревна.

Рассчитав стрелу прогиба в плоскостях XZ и YZ , можем найти значение стрелы прогиба бревна по формуле

$$f = \sqrt{f_{XZ}^2 + f_{YZ}^2}. \quad (8)$$

Заключение. Измерительный комплекс с программным обеспечением, разработанный на основе созданной математической модели, обеспечивает сканирование бревна и регистрацию его размеров и пороков формы ствола.

Измерительный комплекс может использоваться как самостоятельное устройство перед бревнопильным оборудованием для учета и оптимизации раскроя бревен [2, 3], а также в составе сортировочной линии для круглых лесоматериалов в качестве управляющего модуля.

Реализация предложенной технологии позволит вовлечь в переработку и рационально использовать бревна лиственных пород и расширить сырьевую базу лесопильного производства.

Литература

1. Калитеевский Р. Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент. СПб.: Профинформ, 2005. 480 с.
2. Янушкевич А. А., Шетько С. В., Жуковская Е. А. Оптимальные размеры пиломатериалов при распиловке бревен лиственных пород // Труды БГТУ. 2010. Сер. II. Вып. XVIII: Лесная и деревооб- раб. пром-сть. С. 205–208.
3. Жуковская Е. А., Янушкевич А. А. Ресурсосберегающая технология раскря бревен лиственных пород // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды VI Междунар. евразийского симпозиума. Екатеринбург, 2011. С. 124–129.
4. Устройство для измерения диаметров круглых лесоматериалов: пат. 7986 Респ. Беларусь, С1 2006.04.30 / А. А. Янушкевич, С. В. Шетько, Г. Д. Василенок; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. №а 200330492; заявл. 06.06.03; опубл. 30.04.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2006. № 2. С. 108.

References

1. Kaliteevskiy R. Ye. *Lesopilenie v XXI veke. Tekhnologiya, oborudovanie, menedzhment* [Sawmills in XXI century. Technology, equipment, management]. St. Petersburg, Profinform Publ., 2005. 480 p.
2. Yanushkevich A. A., Shet'ko S. V., Zhukovskaya Ye. A. Optimal dimensions of lumber at sawing hardwood logs. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2010, series II, Forest and Woodworking Industry, issue XVIII, pp. 205–208 (In Russian).
3. Zhukovskaya Ye. A., Yanushkevich A. A. Resource-saving technology is the cutting of hardwood logs. *Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka: trudy VI Mezhdunarodnogo evraziyskogo simpoziuma* [Woodworking: technologies, equipment, management XXI century. Proceedings of the VI International Eurasian Symposium]. Ekaterinburg, 2011, pp. 124–129 (In Russian).
4. Yanushkevich A. A., Shet'ko S. V., Vasilenok G. D. *Ustroystvo dlya izmereniya diametrov kruglykh lesomaterialov* [A device for measuring the diameter roundwood]. Patent BY, no. 200330492, 2006.

Информация об авторах

Мухурова Екатерина Александровна – инженер кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail:katya.jukovskaya@gmail.com

Шетько Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Shs@belstu.by

Янушкевич Антон Антонович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail:yanushkevich_a_a@belstu.by

Information about the authors

Mukhurova Ekaterina Aleksandrovna – engineer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: katya.jukovskaya@gmail.com

Shet'ko Sergey Vasil'yevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, Head of the Department of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shs@belstu.by

Yanushkevich Anton Antonovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yanushkevich_a_a@belstu.by

Поступила 16.02.2016