

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРЕВЕСНО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ЦЕХОВ АВТОМАТИЗАЦИЕЙ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

И.В. Григорьев, проф. каф. ФГБОУ ВО Якутская государственная сельскохозяйственная академия, д-р техн. наук, silver73@inbox.ru

О.А. Куницкая, проф. каф. ФГБОУ ВО Якутская государственная сельскохозяйственная академия, д-р техн. наук, доц., ola.ola07@mail.ru

Д.Е. Куницкая, нач. отд. ООО «Частная охранная организация «Виктория-94», канд. техн. наук, victime2005@mail.ru

Разработана математическая модель, автоматической оценки качества групповой механической окорки лесоматериалов в окорочных барабанах, позволяющая оценивать степень очистки балансов, а также технические решения позволяющие повысить эффективность производства технологической щепы за счет точной оперативной автоматизированной оценки качества выполнения операций и управления процессом, повышения производительности линии, снижения энергоемкости процесса и потерь древесины.

Ключевые слова: производство технологической щепы, групповая окорка, автоматизация, древесно-подготовительные цеха.

INCREASE OF EFFICIENCY OF WOOD-PREPARATORY MACHINES BY AUTOMATION OF MAIN TECHNOLOGICAL OPERATIONS

I.V. Grigoryev, Professor, Yakut State Agricultural Academy, Ph.D. of Engineering, silver73@inbox.ru

O.A. Kunitskaya, Associate Professor, Yakut State Agricultural Academy, Ph.D. of Engineering, ola.ola07@mail.ru

D.E. Kunitskaya, Head of Department, Private Security Organization «Victoria-94», Doctor of Engineering, victime2005@mail.ru

A mathematical model has been developed, an automatic assessment of the quality of the group mechanical debarking of timber in bark drums, allowing to assess the degree of cleaning of balances, as well as technological solutions allowing to increase the efficiency of production of technological chips, due to precise operative automated assessment of the quality of operations and process control, reducing the energy intensity of the process and loss of wood.

Keywords: production of technological chips, group debarking, automation, wood-preparation workshops.

Приоритетными направлениями развития лесного комплекса на период до 2020 г. являются: развитие мощностей по глубокой механической, химической и энергетической переработке древесины, ускорение инвестиционного процесса, в первую очередь в новое строительство целлюлозно-бумажных предприятий, масштабная технологическая модернизация действующих производств, внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий, существенный рост производительности труда.

Инвестиционный сценарий развития лесопромышленного комплекса предусматривает коренные изменения в структуре лесопромышленного производства за счет приоритетного развития целлюлозно-бумажной промышленности путем создания крупных лесопромыш-

ленных комплексов (центров роста), где ведущим звеном являются производства целлюлозы, бумаги и картона. В состав таких комплексов должны включаться лесопильно-деревообрабатывающие, плитные производства.

Наиболее крупные лесопромышленные предприятия, производящие продукцию глубокой переработки древесины, например, целлюлозно-бумажные и плитные, в большей части случаев, входят в состав вертикально-интегрированных комплексных лесопромышленных предприятий, которые обеспечивают работой тысячи сотрудников, выплачивают значительные суммы в бюджеты различных уровней и поддерживают социальную стабильность в местах своего расположения.

Можно утверждать, что поступательное повышение эффективности работы таких предприятий будет способствовать достижению целей и решению задач, обозначенных в Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 г., а также развитию экономики России, как государства лидирующего по запасам леса, в целом.

Сырьем основного производства плитных заводов, а также целлюлозно-бумажных комбинатов, является технологическая щепа, которая, обычно, производится в древесно-подготовительных цехах бирж сырья этих предприятий. Очевидно, что от эффективности и качества производства технологической щепы будет во многом зависеть эффективность работы и качество продукции указанных предприятий.

Очень значительный грузооборот древесно-подготовительных цехов при часто меняющихся физико-механических свойствах древесного сырья приводит к неоптимальности показателей процесса его переработки, излишним потерям древесины в отходы и повышенным затратам энергии. До сих пор принятые в настоящее время технологические процессы производства технологической щепы из древесины не являются оптимальными, поскольку часто приводят к значительным потерям древесины и перерасходу энергии и нуждаются в совершенствовании [1].

Современные подходы к автоматизации основных технологических операций древесно-подготовительных цехов, во многом, основываются на использовании оптических средств и распознавании образов. Однако, до сих пор не проводились исследования, посвященные обоснованию оптимального метода распознавания образов, применительно к прикладным задачам оценки оптимальности работы оборудования древесно-подготовительных цехов.

Для повышения эффективности работы линии изготовления технологической щепы учеными научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» предложено несколько технических решений по автоматизации процесса управления качеством окорки балансов в окорочном барабане. Идея заключается в снабжении линии узлом сканирования, с блоками информации и программирования, установленном на выходе из окорочного барабана, и его связи с приводами шандора и сбрасывателя плохо окоренных бревен. Данное решение базируется на возможности автоматической оценки площади бревен занятой не отделившейся корой [2–6].

Теоретические исследования алгоритма делятся по смыслу на два подраздела: 1) выделение на снимке непосредственно объекта (баланса); 2) бинаризация изображения, которая должна максимально полно выделить неокоренные участки баланса [7].

На первом этапе необходимо разделить изображение на фон и исследуемый объект (окоренный баланс). В исследуемом случае, задача сводится к поиску двух криволинейных разрезов, которые соединяют левый и правый края изображения. Условимся, что при этом в каждом столбце изображения точка одного и того же разреза единственна, а переход по линии разреза, осуществляемый от текущего столбца пикселей к соседнему, не может быть сделан со «скачком», большим K пикселей по вертикали.

Обозначим оцифрованное изображение, как $J(x,y)$ (координата x считается горизонтальной, y — вертикальной по изображению). Ширину изображения (в пикселах) обозначим W , высоту — H . Изображение разделим на две части (ширина каждой части останется W пик-

селей, высоты — H_1 и H_2). Введем функции $C_1(x)$ и $C_2(x)$, разделяющие объект (баланс) и фон соответственно сверху и снизу. Таким образом, изображение разделится на подмножества пикселей: U_1 (подмножество пикселей, находящихся «выше» разреза $C_1(x)$), D (подмножество пикселей, принадлежащих объекту, состоит из подмножеств D_1 и D_2) и U_2 (подмножество пикселей, находящихся ниже разреза $C_2(x)$). Из последних условий следует, что:

$$\begin{cases} p(x_p, y_p) \in U_1 \\ y_p < C_1(x_p) \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} p(x_p, y_p) \in D \\ y_p \geq C_1(x_p) \\ y_p \leq C_2(x_p) \end{cases}, \quad (2)$$

$$\begin{cases} p(x_p, y_p) \in U_2 \\ y_p > C_2(x_p) \end{cases}, \quad (3)$$

где $p(x_p, y_p)$ — произвольная точка изображения с координатами x_p и y_p по горизонтали и по вертикали соответственно.

Изложенное иллюстрируется схемой, представленной на рис. 1.

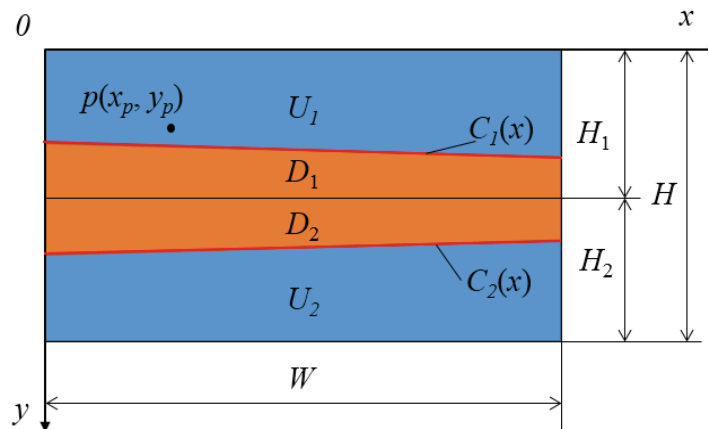


Рис. 1. Схема к построению разрезов, разделяющих изображение на фон и объект

Дополнительно введем обозначение $\omega(M)$ — число пикселей, принадлежащих некоторому подмножеству, где M — обозначение подмножества (U_1 , D_1 , D_2 либо U_2). Введем дополнительные обозначения для сумм яркостей и сумм квадратов яркостей подмножеств — $S(M)$ и $S(M)_2$ соответственно. При этом символом $\sigma_2(M)$ обозначается дисперсия пикселей подмножества.

По определению, дисперсия пикселей подмножества равна:

$$\sigma^2(M) = \frac{\omega(M) \cdot S(M)^2 - (S(M))^2}{(\omega(M))^2}. \quad (4)$$

Для построения линий разреза используем критерий Оцу. С учетом введенных обозначений, формально критерий запишется в следующем виде:

$$\sigma^2(U_1) \cdot \omega(U_1) + \sigma^2(D_1) \cdot \omega(D_1) \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$\sigma^2(U_2) \cdot \omega(U_2) + \sigma^2(D_2) \cdot \omega(D_2) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Суммы квадратов яркостей точек изображения останутся постоянными безотносительно положений разрезов:

$$S(U_1)^2 + S(D_1)^2 = \text{const}, \quad (7)$$

$$S(U_2)^2 + S(D_2)^2 = \text{const}. \quad (8)$$

Таким образом, задачу поиска разрезов можно свести к поиску двух максимумов:

$$\frac{(S(U_1))^2}{\omega(U_1)} + \frac{(S(D_1))^2}{\omega(D_1)} \rightarrow \max, \quad (9)$$

$$\frac{(S(U_2))^2}{\omega(U_2)} + \frac{(S(D_2))^2}{\omega(D_2)} \rightarrow \max. \quad (10)$$

Задачи поиска максимумов функций (9) и (10) решаются методами динамического программирования.

При построении «верхнего» разреза $C_1(x)$ совокупность точек, находящихся слева от точки $p(x,y)$ и выше линии разреза, обозначим U_1xu , слева от точки $p(x,y)$ и ниже линии разреза, обозначим D_1xu .

При построении «нижнего» разреза $C_2(x)$ совокупность точек, находящихся слева от точки $p(x,y)$ и ниже линии разреза, обозначим U_2xu , слева от точки $p(x,y)$ и выше линии разреза, обозначим D_2xu .

Для хранения числа пикселей, принадлежащих множествам U_1xu , D_1xu , U_2xu , D_2xu введем переменные $\omega_1 U[y][x]$, $\omega_1 D[y][x]$, $\omega_2 U[y][x]$ и $\omega_2 D[y][x]$ соответственно.

Для хранения сумм яркостей пикселей, входящих в множества U_1xu , D_1xu , U_2xu , D_2xu используем переменные $S_1 U[y][x]$, $S_1 D[y][x]$, $S_2 U[y][x]$ и $S_2 D[y][x]$ соответственно.

Дополнительно вводя различные переменные, в которых хранятся количества пикселей найдем формулы для расчетных значений критерия Оцу:

$$result_1 = \frac{S_{U1}^2}{new\omega_{U1}} + \frac{S_{D1}^2}{new\omega_{D1}}, \quad (11)$$

$$result_2 = \frac{S_{U2}^2}{new\omega_{U2}} + \frac{S_{D2}^2}{new\omega_{D2}}. \quad (12)$$

Значения y_{prev} , при которых критерий Оцу достигает максимального значения, определяется перебором.

После того, как непосредственно баланс отделен от фона, можем перейти ко второму этапу: разделению полученного изображения на окоренные и неокоренные области. Необходимо обратить внимание на то, что интересующие нас неокоренные области зачастую могут оказаться малоcontrastными по сравнению с окоренной древесиной. Таким образом, основной задачей обработки и анализа фотоснимка является качественная сегментация (разделение изображения на области, для каждой из которых выполняется некоторый критерий однородности) [8]. Были рассмотрены три метода бинаризации изображения для получения наиболее качественной сегментации.

1 метод – Пороговая обработка изображения. Он заключается в сопоставлении яркости каждого из пикселей изображения с заданным пороговым значением яркости.

Для этого можно произвести разделение гистограммы изображения на две части с помощью заданного единого для изображения глобального порога. После этой операции сегментация осуществляется путем последовательного сканирования каждого пикселя изображения (тогда каждый пиксель отмечается как относящийся к объекту или фону по признаку яркости в зависимости от того, превышено ли пороговое значение или нет).

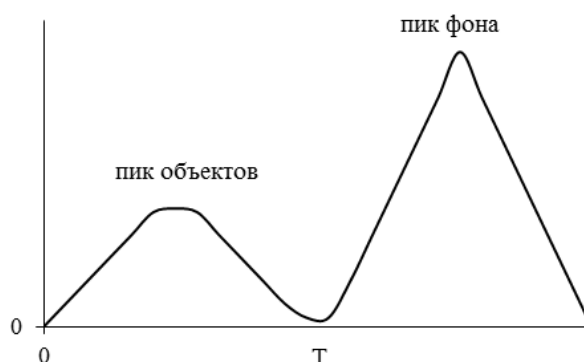


Рис. 2. Единый порог по пиками гистограммы

Это простой метод, который позволяет достичь корректной сегментации, если гистограмма изображения носит резко выраженный бимодальный характер (на изображении можно различить два вида относительно часто встречающихся пикселей – «яркие» и «темные»). В этом случае гистограмма разделяется с помощью единого глобального порога T , расположенного во впадине между пиками гистограммы изображения (пример на рис. 2) [9].

2 метод – Метод Оцу. При помощи метода Оцу в случае бинаризации вычисляют порог, при котором к минимуму сводится средняя ошибка сегментации. Значения яркостей пикселей фотоснимка рассматривают как случайные величины, их гистограмму распределения – как оценку плотности распределения вероятностей случайных величин. При известных из гистограммы плотностях распределения вероятностей становится возможным определение оптимального порога для разделения изображения на объект (неокоренный участок) и фон (окоренная древесина) [10].

Вводятся следующие допущения и обозначения: 1) изображение представляется с помощью L уровней яркости; 2) h_i – число элементов изображения, имеющих яркость i , $i = 0, 1, \dots, L-1$; 3) H – общее число пикселей на изображении; 4) гистограмма изображения является нормализованной и ее можно рассматривать как распределение вероятностей:

$$p_i = \frac{h_i}{H}, \quad i = 0, 1, \dots, L-1, \quad \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1 \quad (13)$$

5) элементы изображения делятся на два класса C_0 и C_1 с использованием порогового значения t , при чем группа C_0 содержит пиксели с яркостями из множества $(0, 1, \dots, t)$, группа C_1 – пиксели с яркостями из множества $(t, t+1, \dots, L-1)$. Вероятности принадлежности к каждой из двух групп и средние значения их яркостей описываются следующими известными формулами:

$$P_0 = \sum_{i=0}^t p_i = P_t, \quad (14)$$

$$P_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - P_t, \quad (15)$$

$$\mu_0 = \sum \frac{ip_i}{P_0} = \frac{\mu_t}{P_t}, \quad (16)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{ip_i}{P_1} = \frac{\mu_T - \mu_t}{1 - P_t}, \quad (17)$$

где $\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} \frac{ip_i}{P_1}$ – средняя яркость всего изображения.

Важно, что для любого t справедлива следующая зависимость:

$$P_0\mu_0 + P_1\mu_1 = \mu_T. \quad (18)$$

Дисперсии каждой из групп рассчитываются по формулам:

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^t \frac{(i - \mu_0)^2 p_i}{P_0}, \quad (19)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{(i - \mu_1)^2 p_i}{P_1}. \quad (20)$$

Определение оптимального порога можно осуществить на основе оптимизации одной из следующих функций, зависящих от порога t :

$$\lambda = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2}, \quad (21)$$

$$k = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_W^2}, \quad (22)$$

$$\eta = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2}, \quad (23)$$

где обозначено: $\sigma_B^2 = P_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + P_1(\mu_1 - \mu_T)^2$ – межклассовая дисперсия, $\sigma_W^2 = P_0\sigma_0^2 + P_1\sigma_1^2$ – внутриклассовая дисперсия, $\sigma_T^2 = \sum_{i=0}^{L-1} \frac{(h_i - \mu_T)p_i}{P}$ – совокупная дисперсия.

Совокупная дисперсия не зависит от порога t , она рассчитывается по известной формуле:

$$\sigma_T^2 = \sigma_W^2 + \sigma_T^2 \quad (24)$$

Наиболее простой мерой, зависящей от порога t , является межклассовая дисперсия. В связи с этим более приемлемым с точки зрения вычислений оптимального порога t является значение η :

$$t^* = \arg \left(\max_{0 < t < L-1} (\eta(t)) \right) = \arg \left(\max_{0 < t < L-1} (\sigma_B^2(t)) \right) \quad (25)$$

Метод Оцу предполагает, что порог разделения t является переменной величиной, в связи с чем при проведении экспериментальных исследований заложим эту величину в пределах от 0,5 до $1,5t^*$ по формуле (25).

3 метод — Метод Бернсена. В рамках этого метода все изображение делится на области заданным размером. Далее, для каждого пиксела изображения в пределах области используется порог, имеющий значение, равное среднему арифметическому наименьшего j_{low} и наибольшего j_{high} уровня яркости в исследуемой области:

$$t(m, n) = \frac{j_{high} + j_{low}}{2}. \quad (26)$$

Если в принятой области используемая мера контраста удовлетворяет условию:

$$G(m, n) = j_{high} - j_{low} \leq \varepsilon, \quad (27)$$

где ε — заданная пороговая величина, определяемая эмпирическим путем, то рассматриваемая область содержит объекты только одной группы: объектов или фона.

Результаты оценки площади неокоренной поверхности по фотоснимкам, а также результаты сопоставления этих оценок с данными натурных экспериментов, показали следующее:

- оценки процента неокоренной поверхности, полученные при помощи метода пороговой обработки изображения, стабильно ниже экспериментальных данных (рис. 3);
- оценки, полученные при помощи метода Бернсена, в общем случае выше экспериментальных сведений (рис. 4);
- в зависимости от выбранного порога разделения, метод Оцу дает оценки как большие, так и меньшие экспериментальных. При этом, в случае, если заданный порог разделения близок к рассчитанному по формуле (15), оценки близки к экспериментальным (рис. 5, 6; табл. 1).

По данным табл. 1 можно сделать следующие выводы:

1. При использовании метода пороговой обработки изображения оценки процента неокоренной поверхности, полученные по снимкам, отличаются от экспериментальных значений на величину в среднем $-25,2\%$. Доверительные границы для отклонения $\pm 16,5\%$.
2. Если задаться порогом разделения равным оптимальному по формуле (15), то при использовании метода Оцу оценки процента неокоренной поверхности, полученные по фотоснимкам, отличаются от экспериментальных значений на величину в среднем $-3,2\%$. Доверительные границы для отклонения $\pm 14,4\%$.
3. При использовании метода Бернсена оценки процента неокоренной поверхности, полученные по снимкам, отличаются от экспериментальных значений на величину в среднем $26,7\%$. Доверительные границы для отклонения $\pm 16,3\%$.
4. Выполненное количество наблюдений ($n=300$) достаточно для того, чтобы заключить о 95% доверительной вероятности полученных результатов.

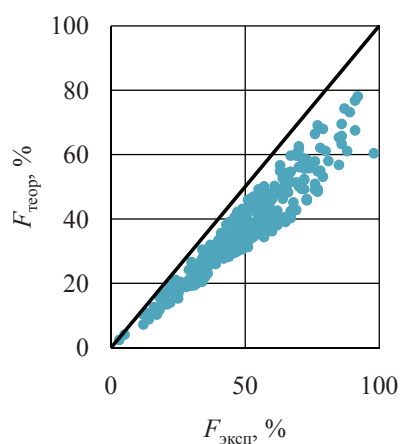


Рис. 3. Сопоставление результатов оценки площади неокоренной поверхности по методу пороговой обработки изображения с экспериментальными значениями

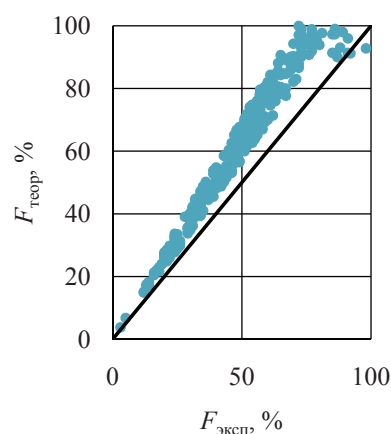
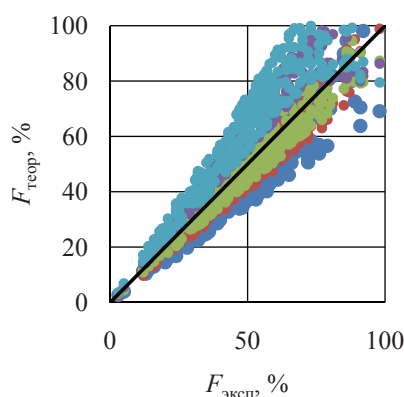
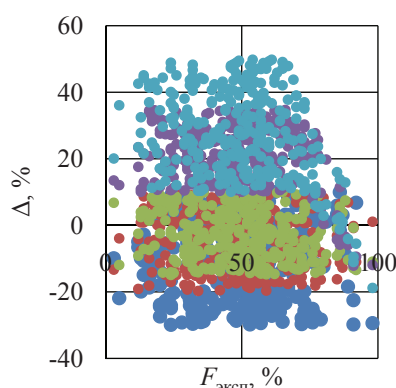


Рис. 4. Сопоставление результатов оценки площади неокоренной поверхности по методу Бернсена с экспериментальными значениями



● 0,5t* ● 0,75t* ● t* ● 1,25t* ● 1,5t*

Рис. 5. Сопоставление результатов оценки площади неокоренной поверхности по методу Оцу с экспериментальными значениями



● 0,5t* ● 0,75t* ● t* ● 1,25t* ● 1,5t*

Рис. 6. Отклонение результатов оценки площади неокоренной поверхности по методу Оцу от экспериментальных значений

Таблица 1

Сводные данные по статистической обработке результатов экспериментов обработки цифровых изображений опытных образцов балансов

	Метод пороговой обработки изображения	Метод Оцу					Метод Бернсена
		0,5t*	0,75t*	t*	1,25t*	1,5t*	
$\bar{\Delta}$	-25,5	-10,2	-4,7	-3,2	20,9	27,3	26,7
S^2	69,969	143,735	68,633	53,177	82,069	173,797	68,319
S	8,365	11,989	8,284	7,292	9,059	13,183	8,266
ε	16,5	23,6	16,3	14,4	17,8	25,9	16,3
ν	0,328	1,179	1,764	2,265	0,434	0,482	0,310
[n]	167	215	282	295	292	36	149

Производству известна также проблема оценки качества технологической щепы. Применяемый метод предполагает взятие пробы кондиционной фракции после сортирования, сортировку пробы на лабораторном анализаторе, взвешивание и определение процентных соотношений фракций. Метод достаточно трудоемкий. Продолжительное время оценки, во-первых, не дает оперативную оценку качества, а во-вторых, не позволяет постоянно отслеживать качество щепы. Таким образом, если в случае очередного взятия пробы будет обнаружено, что качество щепы неудовлетворительное, будет достаточно сложно оценить, сколько некачественной щепы уже поступило на дальнейшую обработку [11].

С учетом этого изложенного выше, предлагается автоматизированная система определения качества технологической щепы. Основные элементы системы – лазер и приемник излучения. Вместе они представляют собой лазерный измеритель расстояния. Луч лазера с высокой скоростью перемещается перпендикулярно направлению движения конвейерной ленты, отражается от поверхности и попадает в приемник. Множество отсчетов расстояния, полученных за один проход лазерного луча по ленте, позволяют получить срез конвейера в данном конкретном месте. По мере движения ленты лазер многократно сканирует поверхность и получает новые срезы. Множество таких срезов дает полную картину о состоянии конвейера, а именно о наличии на нем щепы и ее размерах.

Приводом для движения лазерного луча служит шаговый двигатель. Управление посредством широтно-импульсной модуляции позволит без дополнительной обратной связи точно знать, где в каждый конкретный момент времени находится лазерный луч. Однако нельзя заранее знать, чем приводится в действие конвейерная лента, и каковы допустимые пределы отклонения скорости ее движения. Поэтому привод конвейера предлагается оснастить энкодером. Это позволит всегда иметь информацию о точной скорости конвейера, и в соответствии с ней корректировать алгоритм работы сканирующего лазерного модуля.

Информация с лазерного модуля и энкодера поступает на вход компьютера. Множество состояний конвейера, последовательно поступающих на вход компьютера от лазерного модуля, и расстояние между ними, вычисленное с помощью энкодера, позволят восстановить границы каждой отдельно взятой щепки, рассчитать площадь и отнести к той или иной категории – крупная, мелкая или кондиционная. Данные накапливаются в компьютере, и на основании собранной статистики можно делать вывод о соотношении фракций щепы различных размеров. Далее, в зависимости от места установки системы и поставленных задач, осуществляется информирование оператора о ходе протекания техпроцесса, сигнализация об аварийном состоянии либо оперативное вмешательство в работу отдельных механизмов.

Фазовый метод измерения расстояния позволяет работать на расстояниях до 15 метров, и при этом получить точность в долях миллиметра, что является приемлемым для данной задачи.

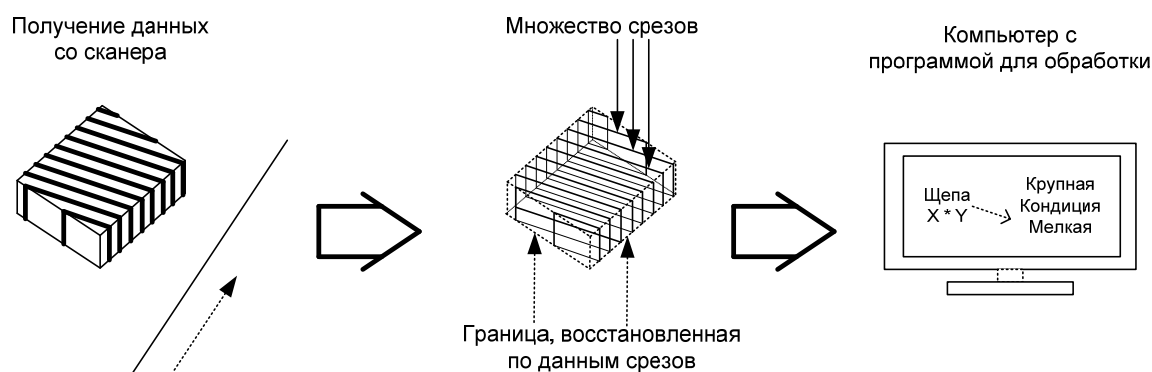


Рис. 7. Последовательность работы предлагаемой системы

В качестве одного из вариантов готового сканирующего лазерного модуля предлагается использовать лазерный триангуляционный 2D датчик LS2D производства НПП «Призма» (г. Екатеринбург). Такой датчик может работать с конвейером шириной 500 мм., а наличие интерфейса Ethernet 10/100 позволяет без дополнительного оборудования подключить его к компьютеру. Стоимость такого датчика варьируется в пределах от 10–20 тыс. руб. Для определения перемещения конвейера подходит любой инкрементальный энкодер в комплекте с подпружиненным крепежным рычагом и мерным колесом с резиновым покрытием. Количество импульсов на оборот – 10000 и более. Стоимость до 20 тыс. руб. Для обработки сигналов от датчика и сканера подойдет одноплатный компьютер Raspberry PI2: ARM процессор с четырьмя ядрами по 1ГГц, 1ГБ оперативной памяти, наличие порта Ethernet 10/100 для подключения сканера, разъем ВН-40 с портами ввода-вывода для подключения энкодера, операционная система семейства Linux. Стоимость 3500 руб.

Плюсы предложенной системы: высокая скорость сканирования; высокая точность; размещение щепы, а также ее форма и размеры не влияют на результат; не требуется переделки конвейера – нужно только доработать имеющееся оборудование.

Предложенная система позволит избавиться от необходимости проведения анализа пробы щепы. С учетом повышения производительности установки и невысокой стоимости компонентов система окупится за несколько месяцев. Если организовать сканирование щепы до и после сортировки, то можно получать оперативную информацию о состоянии ножей рубительной машины, состоянии сит сортировочной машины, количестве нарубленной древесины и количестве отходов.

Для данного технического решения разработана прикладная программа на уровне АРМ, позволяющая полностью автоматизировать процесс оценки качества процесса производства технологической щепы [12].

В заключении отметим, что эффективная работа современных лесопромышленных складов, включая биржи сырья потребителей и их древесно-подготовительные цеха невозможна без обеспечения достаточного уровня автоматизации основных технологических операций. Существующие в настоящее время технологические процессы и оборудование для производства технологической щепы не отвечают современным требованиям эффективности, включая энергосбережение и потери древесного сырья при обработке, о чем говорится в многочисленных работах ученых лесопромышленного комплекса.

Предложенные в последние годы учеными научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» компоновки линий по производству технологической щепы потенциально позволяют повысить эффективность процесса за счет обеспечения непрерывной оперативной оценки качества и оперативного управления процессом окорки и производства щепы, что позволяет снизить потери древесины и затраты энергии.

Данные технические решения базируются на применении оптических средств контроля и распознавании получаемых изображений (пятне коры на балансах, размера щепы, примесей в щепе), однако вопрос об обоснованном выборе методов распознавания образов, применительно к решению задач автоматизации ДПЦ оставался ранее не рассмотренным.

По результатам теоретических исследования предложены три системы формул, адаптированных к специфической задаче оценки качества окорки балансовой древесины, построенные на базе теоретических работ по распознаванию образов.

Предложенные уточненные подходы и алгоритмы распознавания образов, использующие адаптированные к задаче уравнения (11)–(12), (14)–(20), (23), (25)–(27) позволяют различать в машинном зрении хорошо окоренные участки бревен и участки недостаточно окоренные, что позволяет определять общую площадь окоренных и не окоренных участков и автоматически принимать решение о достижении (не достижении) требуемого уровня окорки отдельным бревном и партией подвергаемых окорке бревен.

При использовании метода пороговой обработки изображения оценки процента неокоренной поверхности, полученные по фотоснимкам, отличаются от экспериментальных значений на величину в среднем $-25,2\%$. Доверительные границы для отличия $\pm 16,5\%$.

Оптимальным для решения поставленной задачи оценки процента неокоренной поверхности, полученной по снимкам балансов является метод Оцу, поскольку он дает отличие от экспериментальных значений на величину в среднем $-3,2\%$. Доверительные границы для отличия $\pm 14,4\%$. В то время как при использовании метода Бернсена оценки процента неокоренной поверхности, полученные по снимкам балансов, отличаются от экспериментальных значений на величину в среднем $26,7\%$. Доверительные границы для отличия $\pm 16,3\%$.

Список литературы

1. Куницкая О.А., Колесников Г.Н., Лукин А.Е., Григорьев И.В. Повышение эффективности групповой окорки длинномерных лесоматериалов. Петрозаводск.: ПетрГУ, 2016. 108 с.
2. Куницкая О.А., Локштанов Б.М., Григорьев И.В., Куницкая Д.Е., Лукин А.Е. Поиск новых технических решений для повышения эффективности производства технологической щепы // В сборнике: Интенсификация формирования и охраны интеллектуальной собственности Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной 75-летию ПетрГУ. Петрозаводский государственный университет. 2015. С. 14–15.
3. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Куницкая Д.Е., Ланских Ю.В., Чувашев Е.С., Перевозчиков А.А. Устройство оперативной автоматизированной оценки качества окорки и управления процессом возврата плохо окоренных бревен на дополнительную окорку. Патент РФ на полезную модель № 151533. Опубликовано 10.04.2015 г. Бюл. № 10.
4. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Куницкая Д.Е. Ланских Ю.В., Чувашев Е.С., Перевозчиков А.А. Устройство оперативной автоматизированной оценки качества окорки и управления процессом возврата плохо окоренных бревен на дополнительную окорку. Патент РФ на полезную модель № 151531. Опубликовано 10.04.2015 г. Бюл. № 10.
5. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Куницкая Д.Е., Ланских Ю.В., Чувашев Е.С., Перевозчиков А.А. Устройство оперативной автоматизированной оценки качества окорки и управления процессом возврата плохо окоренных бревен на дополнительную окорку. Патент РФ на полезную модель № 151529. Опубликовано 10.04.2015 г. Бюл. № 10.
6. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Куницкая Д.Е., Ланских Ю.В., Чувашев Е.С., Перевозчиков А.А. Устройство оперативной автоматизированной оценки качества окорки и управления процессом возврата плохо окоренных бревен на дополнительную окорку. Патент РФ на полезную модель № 151530. Опубликовано 10.04.2015 г. Бюл. № 10.
7. Григорьев И.В., Куницкая Д.Е. Бинаризация изображения окоренного баланса // Леса России: политика, промышленность, наука, образование материалы научно-технической конференции. СПб.: СПбГЛТУ, 2016. Том 1, С. 109–112.
8. Куницкая О.А., Григорьев И.В., Локштанов Б.М., Куницкая Д.Е., Лукин А.Е. Автоматизация оценки качества окорки лесоматериалов в окорочных барабанах // Справочник. Инженерный журнал с приложением, 2016. № 7. С. 56–64.
9. Григорьев И.В., Куницкая Д.Е. Модель распознавания окоренного баланса на цифровом снимке // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. Воронеж. ВГЛТУ, 2015. Том 5. С. 283–287.
10. Куницкая Д.Е., Григорьев И.В., Хитров Е.Г. Алгоритм распознавания баланса на цифровом снимке // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. Воронеж. ВГЛТУ, 2015. Том 9. С. 197–201.
11. Куницкая О.А., Локштанов Б.М., Григорьев И.В., Куницкая Д.Е., Лукин А.Е. Поиск новых технических решений для повышения эффективности производства технологической щепы // В сборнике:

Интенсификация формирования и охраны интеллектуальной собственности: Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной 75-летию ПетрГУ. Петрозаводск: ПетрГУ, 2015. С. 14–15.

12. Куницкая О.А., Куницкая Д.Е., Ланских Ю.В., Лапихин А.В., Григорьев И.В., Никифоров А.А. Анализ фракционного состава технологической щепы. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2016616382 от 09.06.2016 г.

References

1. Kunitskaya O.A., Kolesnikov G.N., Lukin A.E., Grigoriev I.V. (2016) *Povyshenie effektivnosti gruppovoy okorki dlinnomernykh lesomaterialov* [Increasing the efficiency of batch debarking of long timber] *PetrGU* [PetrSU]. Petrozavodsk. 108 с.

2. Kunitskaya O.A., Lokshtanov B.M., Grigoriev I.V., Kunitskaya D.E., Lukin A.E. (2015) *Poisk novykh tekhnicheskikh resheniy dlya povysheniya effektivnosti proizvodstva tekhnologicheskoy shchepy* [Search for new technological solutions to increase the efficiency of production of technological chips] *V sbornike: Intensifikatsiya formirovaniya i okhrany intellektual'noy sobstvennosti. Materialy respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu PetrGU* [The collection includes: Intensification of the formation and protection of intellectual property. Materials of the republican scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of Petrozavodsk State University] *Petrozavodskiy gosudarstvennyy universitet* [Petrozavodsk State University]. Petrozavodsk, pp. 14–15.

3. Grigoryev I.V., Kunitskaya O.A., Kunitskaya D.E., Lanskih Yu.V., Chuvashov E.S., Perevozchikov A.A. *Ustroystvo operativnoy avtomatizirovannoy otsenki kachestva okorki i upravleniya protsessom vozvrata plokh okorenykh breven na dopolnitel'nyu okorku. Patent RF na poleznuyu model' No. 151533. Opublikovano 10.04.2015 g. Byul. No. 10* [The device of the operative automated estimation of quality of debarking and management of process of return of badly barked logs on additional debarking. The patent of the Russian Federation for utility model No. 151533. Published on 04/04/2015. No. 10].

4. Grigoryev I.V., Kunitskaya O.A., Kunitskaya D.E., Lanskih Yu.V., Chuvashov E.S., Perevozchikov A.A. *Ustroystvo operativnoy avtomatizirovannoy otsenki kachestva okorki i upravleniya protsessom vozvrata plokh okorenykh breven na dopolnitel'nyu okorku. Patent RF na poleznuyu model' No. 151531. Opublikovano 10.04.2015 g. Byul. No. 10* [The device of the operative automated estimation of quality of debarking and management of process of return of badly barked logs on additional debarking. The patent of the Russian Federation for utility model No. 151531. Published on 04/04/2015. No. 10].

5. Grigoryev I.V., Kunitskaya O.A., Kunitskaya D.E., Lanskih Yu.V., Chuvashov E.S., Perevozchikov A.A. *Ustroystvo operativnoy avtomatizirovannoy otsenki kachestva okorki i upravleniya protsessom vozvrata plokh okorenykh breven na dopolnitel'nyu okorku. Patent RF na poleznuyu model' No. 151529. Opublikovano 10.04.2015 g. Byul. No. 10* [The device of the operative automated estimation of quality of debarking and management of process of return of badly barked logs on additional debarking. The patent of the Russian Federation for utility model No. 151529. Published on 04/04/2015. No. 10].

6. Grigoryev I.V., Kunitskaya O.A., Kunitskaya D.E., Lanskih Yu.V., Chuvashov E.S., Perevozchikov A.A. *Ustroystvo operativnoy avtomatizirovannoy otsenki kachestva okorki i upravleniya protsessom vozvrata plokh okorenykh breven na dopolnitel'nyu okorku. Patent RF na poleznuyu model' No. 151530. Opublikovano 10.04.2015 g. Byul. No. 10* [The device of the operative automated estimation of quality of debarking and management of process of return of badly barked logs on additional debarking. The patent of the Russian Federation for utility model No. 151530. Published on 04/04/2015. No. 10].

7. Grigoryev I.V., Kunitskaya D.E. (2016) *Binarizatsiya izobrazheniya okorennoy balansy* [Binarization of the image of the rooted balance] *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie. Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. SPbGLTU* [Forests of Russia: politics, industry, science, education materials of the scientific and technological conference SPbGLTU]. St. Petersburg. Vol. 1, pp. 109–112.

8. Kunitskaya O.A., Grigoriev I.V., Lokshtanov B.M., Kunitskaya D.E., Lukin A.E. (2016) *Avtomatizatsiya otsenki kachestva okorki lesomaterialov v okorochnykh barabanakh* [Automation of assessing the quality of debarking of timber in bark drums] *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal s prilozheniem* [Handbook. Engineering Journal with attachment]. No. 7. Pp. 56–64.

9. Grigoryev I.V., Kunitskaya D.E. (2015) *Model' raspoznavaniya okorennoy balansy na tsifrovom snimke* [The model of recognition of the root balance on a digital image] *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy*

XXI veka. Teoriya i praktika: sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy zaachnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Actual directions of scientific research of the XXI century: Theory and practice: a collection of scientific papers on the basis of an international correspondence scientific-practical conference] *VGLTU* [VGLTU] Voronezh, Vol. 5, pp. 283–287.

10. Kunitskaya D.E., Grigoriev I.V., Khitrov Ye.G. (2015) *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy zaachnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Algorithm of recognition of balance on a digital image. Actual directions of scientific researches of the XXI-st century. The theory and practice: the collection of scientific works on materials of the international correspondence scientific-practical conference] *VGLTU* [VGLTU]. Vol. 9, pp. 197–201.

11. Kunitskaya O.A., Lokshtanov B.M., Grigoriev I.V., Kunitskaya D.E., Lukin A.E. (2015) *Poisk novykh tekhnicheskikh resheniy dlya povysheniya effektivnosti proizvodstva tekhnologicheskoy shchepy* [Search for new technological solutions to increase the efficiency of production of technological chips] *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii 75-letiyu PetrGU* [Materials of the republican scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of PetrSU]. Petrozavodsk, pp. 14–15.

12. Kunitskaya O.A., Kunitskaya D.E., Lanskih Yu.V., Lapikhin A.V., Grigoriev I.V., Nikiforov A.A. *Analiz fraktsionnogo sostava tekhnologicheskoy shchepy. Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM No. 2016616382 ot 09.06.2016 g.* [Analysis of fractional composition of technological chips. Certificate of registration of the computer program No. 2016616382 of 09/06/2016].