

РАСЧЕТ ВОЗМОЖНОГО ВЫХОДА ОБЪЕМОВ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗВЕСТНОЙ ТАКСАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ НАСАЖДЕНИЙ

Коркин Е.С. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) eskorkin@rambler.ru

THE CALCULATION OF THE CARVING WOOD'S POTENTIAL VOLUME RECOVERY FOR STANDING CROP'S PARAMETERS

Сложность и динамичность развития рыночных отношений в лесной промышленности с каждым годом выдвигает все больше требований к управлению использованием сырья при производстве различных видов продукции (например, пиломатериалов).

Исходя из данных предыдущих лет по выпуску пиломатериалов и анализа текущего состояния рынка пиломатериалов, лесопромышленное предприятие планирует выпуск пилопродукции на определенный период времени (например, 1 год). Зная таксационную характеристику насаждений, планируемых предприятием в рубку на этот же период времени, актуальными могут быть вопросы:

1. Какова максимально возможная выработка спецификационных пиломатериалов (по объемному, стоимостному или многокритериальному показателям)?
2. Возможно ли реализовать планируемый выпуск пилопродукции? Если возможно, то каковы минимальные затраты пиловочного сырья?

Нами осуществлена попытка ответить на эти вопросы путем создания специализированного программного комплекса, сущность работы которого сводится к следующему алгоритму (рис.1). Алгоритм состоит из трех последовательных этапов (представлены в прямоугольниках). Расчеты каждого этапа выполняются на основе исходных данных (представлены в ромбах) и данных предыдущих этапов.

Этап 1: определение ресурсов пиловочного сырья

Данные о таксационной характеристике каждой древесной породы насаждений, необходимые для расчетов ресурсов сырья следующие: порода r , средний диаметр d , см, разряд высот μ , $Q_{r\mu}$ – объем запаса r -ой породы μ -го разряда высот, тыс.м³, $q_{r\mu}$ – выход деловой древесины, %.



Рисунок 1 – Алгоритм расчета возможного выхода объемов пиломатериалов

В основу определения ресурсов пиловочного сырья положена методика расчета выхода круглых лесоматериалов при специализированной раскряжевке хлыстов (СРХ) [1]. Автором этой методики для выявления потенциального выхода определенного сортамента из хлыстов были разработаны варианты их специализированной раскряжевки. Методический подход составления таких вариантов основывается на выполнении следующих требований:

- назначается приоритетный (ведущий) сортимент ограниченного числа длин;
- назначаются сопутствующие сортименты в заданной последовательности их выпуска, с целью рационального использования товарных зон хлыста.

При выполнении лесопромышленным предприятием раскряжевки хлыстов согласно тому или иному варианту СРХ, пользуясь уравнениями коэффициентов максимального выхода (КМВ), можно рассчитать потенциальный выход приоритетного сортамента. Приведем примеры таких уравнений для соснового пиловочника обычного третьего разряда высот [2]:

$$K_{jr\mu}^d = -181,5(d - 11,4)^{-1} + 102 \quad (1)$$

$$K_{0jr\mu}^d = -77,5(d - 13,044)^{-1} + 85,65 \quad (2)$$

где $K_{jr\mu}^d$ - КМВ пиловочника, полученного из *здоровых хлыстов*, $K_{0jr\mu}^d$ - КМВ пиловочника, полученного из *низкокачественных хлыстов*, d – диаметр насаждения на уровне груди, j – сортимент, r – порода, μ - разряд высот.

Поясним значения терминов *здоровый хлыст* и *низкокачественный хлыст*. Практически на раскряжевку поступают древесные стволы, изменившие свою товарную структуру. Причина этого в нарушении требований правильного выполнения технологических операций, предшествующих раскряжевке, или хранения хлыстов в запасах [3]. Долю деловой древесины, вырабатываемой из низкокачественных хлыстов, рассчитывают по нижеследующим эмпирическим формулам:

$$\text{для березы [3]:} \quad E_{r\mu} = 1,67d_{r\mu} - 1,33q_{r\mu} + 94,4, \quad (3)$$

$$\text{для осины [3]:} \quad E_{r\mu} = 83,4 - 0,8d_{r\mu} + 0,16q_{r\mu}, \quad (4)$$

$$\text{для сосны [1]:} \quad E_{r\mu} = 180 + 0,114d_{r\mu} - 1,6q_{r\mu}, \quad (5)$$

где $d_{r\mu}$ – средний диаметр насаждения на уровне груди r -й породы, μ -го разряда высот, см; $q_{r\mu}$ – выход деловой древесины из хлыстов r -й породы μ -го разряда высот по лесотаксационной оценке, %; $E_{r\mu}^d$ - доля деловой древесины из низкокачественных хлыстов.

Соответственно доля деловой древесины из здоровых хлыстов составит

$$\lambda_{r\mu} = (100 - E_{r\mu}). \quad (6)$$

Вычисления по формулам 1-6 позволяют перейти непосредственно к расчету объемного выхода j -го сортамента:

$$V_j = 10^{-6} \cdot \sum_r \sum_{\mu} Q_{r\mu} \cdot q_{r\mu} \cdot (\lambda_{r\mu} \cdot K_{jr\mu}^d + E_{r\mu} \cdot K_{0jr\mu}^d), \quad (7)$$

где $Q_{r\mu}$ – объем запаса r -ой породы μ -го разряда высот, тыс.м³.

Для определения размерной характеристики полученных объемов пиловочного сырья, используются математико-статистические выкладки описания параметров пред-

мета труда Редькина А.К. и Чувелева А.Я [4]. Авторами рассматривается диаметр пиловочного сырья как случайная величина D_p , см, определяемая по формуле

$$D_p = e^{3,433} \cdot V^{0,262} \cdot l^{-0,117}, \quad (8)$$

где e – основание натуральных логарифмов; V – средний объем раскряжеванных хлыстов, тыс.м³; l – средняя длина пиловочного сырья, м.

Формула среднего квадратического отклонения σ имеет вид:

$$\sigma = 0,43961 \cdot D_p - 3,50189. \quad (9)$$

Используя зависимости (8, 9) можно определить полное распределение пиловочного сырья по диаметрам, которое подчиняется нормальному закону распределения.

Этап 2: генерирование возможных схем раскря пиловочного сырья

Данные о планируемых к выработке спецификационных пиломатериалах представляются в следующем виде (табл. 2).

Таблица 2 – Перечень спецификационных пиломатериалов

№ п/п	толщина, мм	ширина, мм	требуемый объем, тыс.м ³
1	a_1	b_1	W_1
2	a_2	b_2	W_2
...
n	a_n	b_n	W_n

Развитие функциональных возможностей ЭВМ позволило выйти теории раскря пиловочного сырья на качественно новый уровень. Стало доступным составление поставов не просто оптимальных размеров пиломатериалов, а пиломатериалов, заданных конкретной спецификацией. Такие поставы получили название *оптимальные спецификационные*.

В работе [5] нами обозначены недостатки существующих основополагающих методик по составлению таких поставов и предложен свой подход к решению данной проблемы. На рисунке 3 изображена общая структура алгоритма составления поставов в рамках такого подхода. Рисунок 2 содержит графическое изображение схемы раскря. Суть данной методики заключается в составлении поставов по следующей схеме. Сначала формируется предварительный постав спецификационных пиломатериалов P_z , входящих в пропиленную часть бревна. Далее, на основе этого поставы составляется совокупность поставов дополнительных досок первого nP_{z1} и второ-

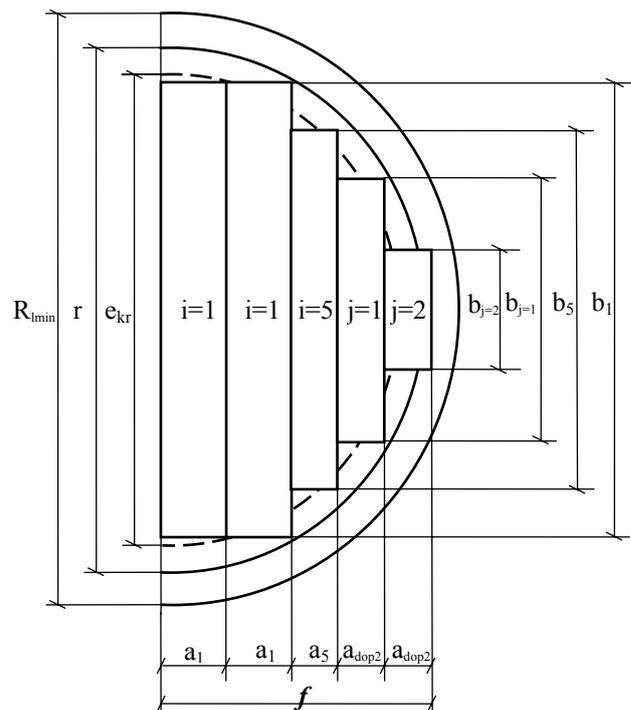


Рисунок 2 - Схема раскря P_z

го mP_{z2} проходов. Таким образом, мы имеем не один постав P_z с единственным набором боковых досок, а целое множество, равное $m \cdot n$ поставов. В связи с отсутствием принципиальной разницы поиска боковых досок первого прохода от поиска боковых досок второго прохода на рис. 1 не отражен блок поиска второго прохода.

Описание алгоритма составления поставов

Блок 1 последовательно перебирает спецификационные пиломатериалы, а блок 2 проверяет возможность добавления того или иного i -го пиломатериала к формируемому поставу P_z .

Величина f представляет собой сумму толщин уже добавленных в текущий постав пиломатериалов – охват поставки (с целью упрощения модели, в формулах, представленных на рисунке не учтены такие параметры, как пропилены 1-го и 2-го прохода, усушка пиломатериалов, допустимый обзол).

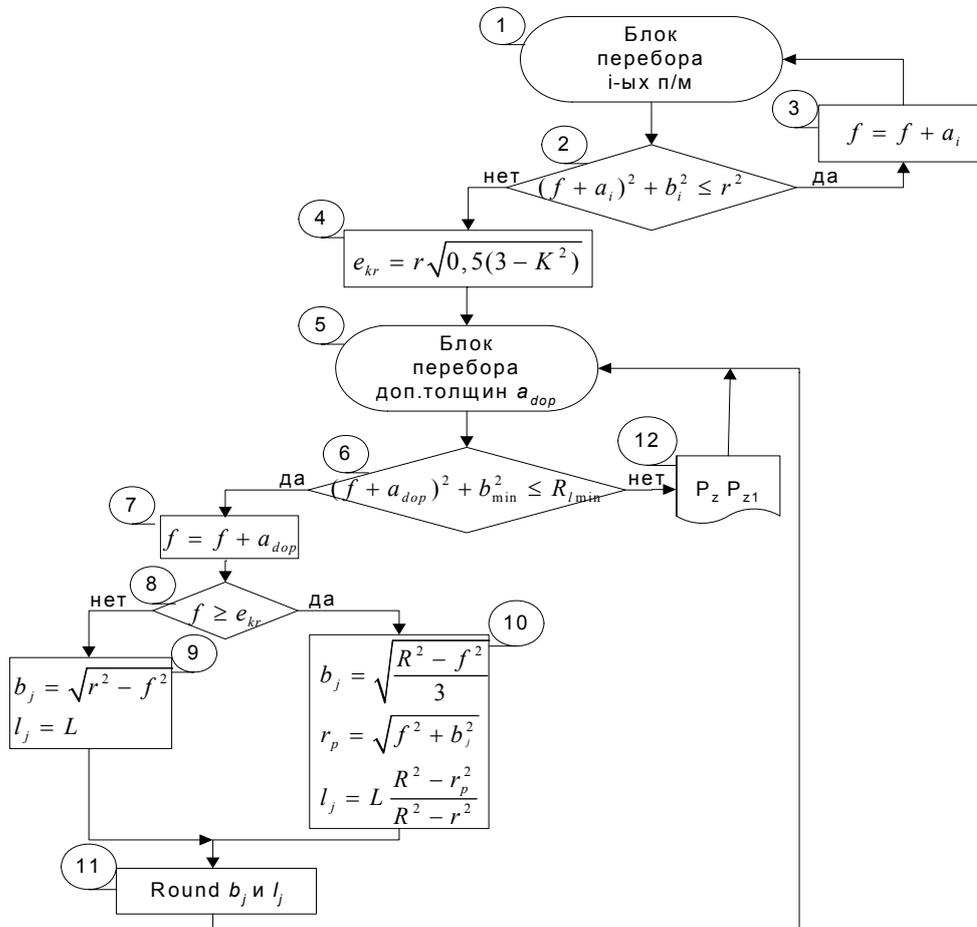


Рисунок 3 – Алгоритм составления поставов

i – номер п/м в спецификации; f – ширина формируемого поставки; a_i и b_i – толщина и ширина i -го п/м; r – вершинный радиус бревна; e_{kr} – величина, разделяющая пифагорическую и параболическую зоны бревна; K – сбеги; $a_{доп}$ – величина дополнительной толщины; j – номер боковой доски; b_{min} – минимально допустимая ширина боковых досок; R_{min} – значение диаметра бревна, при минимально допустимой длине боковых досок; L – длина бревна; R – комлевой радиус бревна; b_j и l_j – ширина и длина j -ой боковой доски; r_p – значение расчетного диаметра; P_z – постав основных досок, P_{z1} – постав боковых досок 1-го прохода.

При справедливости неравенства блока 2, i -й пиломатериал добавляется к формируемому поставу, а к величине f приплюсовывается значение толщины этого пиломатериала a_i (блок 3). Невыполнение условия блока 2 говорит о том, что к текущему поставу

больше невозможно добавлять пиломатериалы из спецификации. Поэтому алгоритм переходит к перебору дополнительных толщин (блок 5), предварительно определив значение e_{kr} в блоке 4. e_{kr} представляет собой границу между пифагорической и параболической зонами бревна [6].

Блок 5 перебирает дополнительные толщины a_{dop} . В блоке 6 величина R_{min} характеризует значение диаметра бревна, при минимально допустимой длине боковых досок. Величина b_{min} равняется минимально допустимой ширине боковых досок. Удовлетворение неравенства блока 6 говорит о том, что в постав еще могут быть добавлены дополнительные доски. В этом случае блок 7 увеличивает значение f на величину, равную толщине дополнительной доски a_{dop} . Таким образом, начинается формирование боковых досок. Блок 8 определяет, в какую зону бревна попадает текущая боковая доска: если в пифагорическую, то значения ее длины l и ширины b определяются в соответствии с блоком 9; если в параболическую, то в соответствии с блоком 10. r_p – значение расчетного диаметра, начиная с которого текущая боковая доска может быть вписана в форму бревна.

После определения в соответствии с блоком 9 или 10 значений b и l , происходит их округление до стандартных размеров в блоке 11. Далее алгоритм возвращается к блоку перебора дополнительных толщин (5), который выдает очередное значение a_{dop} . Невыполнение условия блока 6 означает, что постав окончательно сформировался. Блок 12 фиксирует весь набор досок, входящих в этот постав, после чего повторяется цикл блоков 5-12 с целью поиска других возможных вариантов поставки. Далее алгоритм переходит обратно к блоку 1, откуда цикл повторяется снова и снова до полного перебора всех возможных схем раскроя P_z .

Этап 3: составление плана раскроя пиловочного сырья

На этом этапе осуществляется решение оптимизационной задачи, на основе данных полученных в предыдущих расчетах (этапы 1 и 2). Оптимизационная задача предполагает составление целевой функции на максимум (или минимум) того или иного критерия. Примем в качестве такого критерия: «максимум выработки спецификационных пиломатериалов по объемному показателю», что эквивалентно первому вопросу, поставленному в начале статьи. Целевая функция будет иметь вид

$$\sum_{z=1}^m \sum_{i=1}^n P_z \cdot k_{i,z} \cdot W_i \rightarrow \max, \quad (11)$$

где P_z – количество z -х поставов, $k_{i,z}$ – количество i -х спецификационных пиломатериалов в z -м поставе, W_i – объем i -го пиломатериала, m – число поставов, участвующих в оптимизационном расчете, n – число спецификационных пиломатериалов.

Ресурсы пиловочного сырья, рассчитанные на первом этапе, будут являться ограничением данной задачи:

$$\left\{ \sum_{z \in D1} P_z \cdot V_z \leq SumV_z, \sum_{z \in D2} P_z \cdot V_z \leq SumV_z, \dots, \sum_{z \in D_{max}} P_z \cdot V_z \leq SumV_z \right\}, \quad (12)$$

где V_z – объем пиловочника одного бревна z -го диаметра, $SumV_z$ – общий объем пиловочника z -го диаметра, $\sum_{z \in D1}$ – означает, что суммируются объемы только того пило-

вочника (с диаметром D1), для геометрических параметров которого составлены z-е поставки.

Для ответа на второй вопрос: «возможно ли реализовать запланированный выпуск пилопродукции», к целевой функции (формула 11) необходимо добавить еще одно ограничение:

$$\left\{ \sum_{z=1}^m P_z \cdot k_{1,z} \cdot W_1 \geq SumW_1, \sum_{z=1}^m P_z \cdot k_{2,z} \cdot W_2 \geq SumW_2, \dots, \sum_{z=1}^m P_z \cdot k_{n,z} \cdot W_n \geq SumW_n \right\}, \quad (13)$$

где $SumW_i$ – объем запланированного к выпуску i-го пиломатериала.

Для ответа на вопрос «каковы минимальные затраты пиловочного сырья?» требуется составить следующую целевую функцию (в купе с ограничением (13)):

$$\sum_{z=1}^m P_z \cdot V_z \rightarrow \min. \quad (14)$$

Пример расчета возможного выхода объемов пиломатериалов

В соответствии с рассмотренным алгоритмом планирования выпуска пилопродукции посредством специализированного программного комплекса представим данные результата расчета следующей таксационной характеристики: порода *сосна*, средний диаметр на уровне груди $d = 32$ см, выход деловой древесины $q = 89,7\%$, объем сырья $Q = 10$ тыс.м³. Согласно расчетам первого этапа, объем пиловочного сырья (длина $l = 6$ м) для таких данных составит $V = 7,93$ тыс.м³ со следующим поштучным распределением сырья по толщинам (табл.3).

Таблица 3 – Поштучное распределение пиловочного сырья по толщинам

вершинный диаметр, см	14	16	18	20	22	24	26
количество бревен, шт	2787	3166	3354	3465	3223	2869	2353

Окончание таблицы 3

вершинный диаметр, см	28	30	32	34	36	38	40
количество бревен, шт	1832	1314	891	565	331	182	93

Упростим дальнейшую схему расчета. Будем составлять план раскроя пиловочного сырья с вершинными диаметрами 16, 18, 20 и 22 см. Объем такой выборки $V = 3,56$ тыс.м³. В качестве спецификационных примем следующие размеры пиломатериалов (таблица 4).

Таблица 4 – Перечень спецификационных пиломатериалов, используемых в расчете

№ п/п	толщина, мм	ширина, мм	требуемый объем, тыс.м3
1	50	150	W ₁
2	40	150	W ₂
3	32	150	W ₃
4	50	100	W ₄
5	40	100	W ₅
6	32	100	W ₆

Параметры дополнительных досок: список дополнительных толщин $a_{доп} = \{25, 19\}$ мм, минимальная длина $l_{min} = 2$ м, градация по длине $l_{grad} = 0,1$ м, округление ширин до стандартных размеров.

Прочие параметры: допустимый обзол равен 0%, пропилены пыльного оборудования 1-го прохода равны 3 мм, 2-го прохода – 3 мм, средний сбег сырья равен 1 см/м.

План раскроя пиловочного сырья при оптимизационном критерии «максимум объемной выработки спецификационных пиломатериалов»:

Таблица 5 – План раскроя на максимум объемной выработки

№	D	n	Q _{вых}	первый проход			второй проход			
1	20	3465	0,60	$\frac{150}{1}$	$\frac{19 \times 90 \times 4,4}{2}$		$\frac{40 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{32 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 3,9}{2}$	
2	22	3223	0,61	$\frac{150}{1}$	$\frac{19 \times 110 \times 5,3}{2}$	$\frac{19 \times 75 \times 2,7}{2}$	$\frac{40 \times 150 \times 6}{1}$	$\frac{32 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{32 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 3,2}{2}$
3	24	2869	0,63	$\frac{150}{1}$	$\frac{25 \times 116 \times 5,9}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 3,3}{2}$	$\frac{50 \times 150 \times 6}{1}$	$\frac{40 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{32 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 2,6}{2}$
4	26	2353	0,61	$\frac{100}{1}$	$\frac{40 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 116 \times 5,1}{2}$	$\frac{19 \times 75 \times 2,4}{2}$	$\frac{50 \times 100 \times 6}{3}$	$\frac{32 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 2,6}{2}$

Общий объемный выход пиломатериалов составит 2,18 тыс.м³, в том числе спецификационных пиломатериалов – 1,73 тыс.м³.

Обозначения, принятые в таблице 5: **D** – вершинный диаметр бревна, для которого составлен постав, см; **n** – число бревен, раскраиваемых поставом, шт; **Q_{вых}** – объемный выход пиломатериалов.

План раскроя пиловочного сырья при оптимизационном критерии «максимум объемной выработки спецификационных пиломатериалов при заданных минимальных объемах выпуска этих пиломатериалов (табл.7)» будет отличаться от плана раскроя, представленного в таблице 5 следующим образом. Раскрой бревен диаметром 22 и 24 см не изменится. Раскрой бревен диаметром 20 см поставом №1 (табл.5) уменьшится с 3465 шт. до 1454 шт. Но к плану раскроя добавятся еще два поставы (№5, №6 табл.6). Раскрой бревен диаметром 26 см поставом № 4 (табл.5) уменьшится с 2353 шт. до 394 шт. К плану добавится один постав (№7, табл.6).

Таблица 6 – Дополнительные схемы раскроя

№	D	n	Q _{вых}	первый проход			второй проход			
5	20	249	0,58	$\frac{150}{1}$	$\frac{19 \times 90 \times 4,4}{2}$		$\frac{32 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{40 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 3,9}{2}$	
6	20	1762	0,57	$\frac{150}{1}$	$\frac{19 \times 90 \times 4,4}{2}$		$\frac{50 \times 150 \times 6}{1}$	$\frac{50 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 3,6}{2}$	
7	26	1959	0,61	$\frac{100}{1}$	$\frac{40 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 116 \times 5,1}{2}$	$\frac{19 \times 75 \times 2,4}{2}$	$\frac{50 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{40 \times 100 \times 6}{4}$	$\frac{19 \times 80 \times 3}{2}$

Таблица 7 – Планируемый и фактический выход объемов пиломатериалов

	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆
план, м ³	200	500	200	200	200	300
факт, м ³	208,4	596,7	200	200	200	304,9

Общий объемный выход пиломатериалов составит 2,17 тыс.м³, в том числе спецификационных пиломатериалов – 1,71 тыс.м³. Планируемый и фактический выход объемов пиломатериалов представлен в таблице 7. Согласно данным таблицы, реализация планируемой пилопродукции будет выполнена по всем спецификационным пиломатериалам, с некоторым перевыполнением $W_2 = 596,7 \text{ м}^3$ (40x150x6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прешкин Г.А. Исследование и оптимизация раскряжевки хлыстов на ограниченное число сортиментов: Автореф. ... канд. техн. наук. – М., 1979. – 19с.
2. Прешкин Г.А. Выход сортиментов при целевой поштучной раскряжевке хлыстов. «Лесной журнал» №6-1977, с.134-138.
3. Солдатов А.В., Коркин Е.С. Методика расчета выхода объема круглых лесоматериалов при раскряжевке березовых и осиновых хлыстов. Леса Урала и хозяйство в них.– Екатеринбург: УГЛТУ, 2006.– вып. 27.– С. 309-314.
4. Редькин А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок: Учебник для вузов. М.: Лесная промышленность, 1988. – 256 с.
5. Ковалев Р.Н., Коркин Е.С., Солдатов А.В. Расчет схем раскряжки при продольной распиловке бревен. Брянск, 2006. http://www.science-bsea.narod.ru/les_2006/kovalev_raschet.htm
6. Шапиро Д.Ф. Лесопильно-строительное производство. М., 1935, 507с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКОРКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Побединский В.В., Берстенёв А.В., Шуняев С.Н.

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) nto@krovtrede.ru

Одним из наиболее эффективных путей совершенствования роторных окорочных станков (РОС) является использование системы автоматического управления (САУ) гидроприводом механизма прижима режущего инструмента (РИ). При этом возникает ряд исследовательских задач, которые ранее не рассматривались. В ходе прогресса развитие элементной базы гидропривода и микропроцессорной техники позволило решить первоочередную задачу - разработку структурной схемы САУ РИ [1], на основе которой создается в дальнейшем конструктивное решение. Для этих целей схемная реализация САУ предусматривает синтез параметров системы с помощью передаточной функции и использования спектральных характеристик динамических воздействий на механизм резания со стороны микропрофиля поверхности обрабатываемого лесоматериала.

Получить такие данные экспериментально чрезвычайно сложно, а тем более для всего породного и сортиментного состава будет практически невозможно, поэтому единственным выходом в этой ситуации является использование метода математического моделирования.