



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.093

В.Ф. Дунаев

Дунаев Владимир Федорович родился в 1938 г., окончил в 1970 г. Северо-Западный заочный политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных работ в области автоматизации процессов лесопиления.



ЛЕСОПИЛЕНИЕ: ОТ ГЕОМЕТРИИ К ФИЗИКЕ, МЕХАНИКЕ И ТЕХНОЛОГИИ

Предложены способ индивидуальной распиловки бревен с учетом неравномерного распределения влаги в бревнах по радиусу и длине и неразрушающий способ оценки прочности, деформативности и долговечности пиломатериалов.

Ключевые слова: способы распиловки; способы базирования по оси бревна, по образующей, по касательной к линии раздела заболонь – ядро; распределение влажности по радиусу; индивидуальный раскрой; механические свойства древесины, прочность, долговечность, ползучесть, неразрушающий способ, уравнение связи силы реакции пиломатериалов с деформацией при поперечном изгибе.

В первых теоретических исследованиях рационального использования пиловочного сырья на пиломатериалы [1] рассмотрены варианты распиловки бревен развальным и брусово-развальным способами (рис. 1). При этом ось бревна совмещали с осью постола и получали доски с перерезанием волокон.

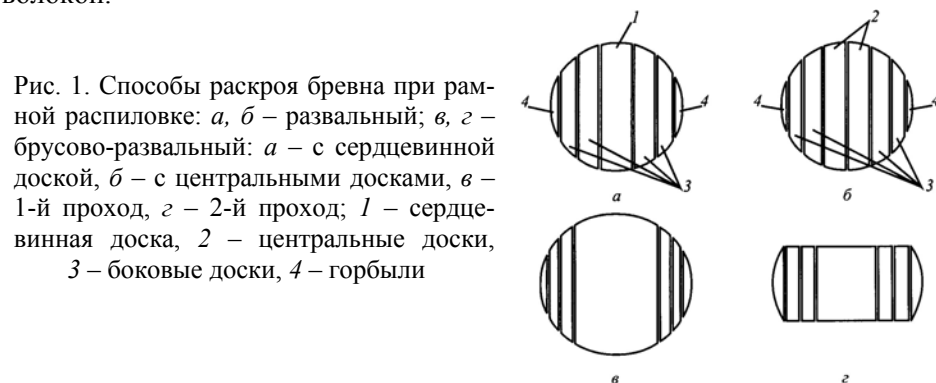
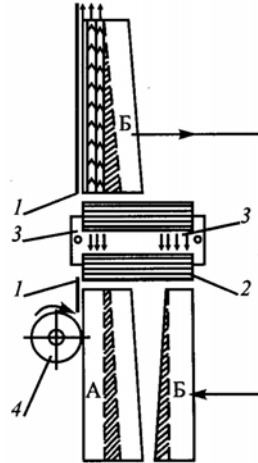


Рис. 1. Способы раскроя бревна при рамной распиловке: *a, б* – развальный; *в, з* – брусово-развальный: *a* – с сердцевинной доской, *б* – с центральными досками, *в* – 1-й проход, *з* – 2-й проход; *1* – сердцевинная доска, *2* – центральные доски, *3* – боковые доски, *4* – горбыли

Рис. 2. Способ распиловки бруса двумя полупаставами на одной раме [10]: 1 – базирующая линейка; 2 – вальцы лесопильной рамы; 3 – полупаставы; 4 – фрезерный узел; А – левая часть бруса, распиливаемая за 1-й проход; Б – правая часть бруса, распиливаемая за 2-й проход



В более поздних работах [2, 10, 12] рассматривали варианты базирования бревна и бруса как по одной, так и по двум образующим. Причем для распиловки предлагалось использовать ленточнопильное или рамное оборудование с фрезерным узлом (рис. 2), а для необрезных досок с гнилью – обрезной станок с базированием досок по двум образующим (рис. 3). Критерием эффективности схемы раскряя оставался объемный выход – доля объема пиломатериалов от общего объема бревен, из которых получены данные пиломатериалы.

При раскряе бревна учитывались только его длина, толщина в вершинном торце, сбег и кривизна. Особенности строения древесины, физические и механические свойства в расчет не принимали, поэтому было решено провести исследования особенностей раскряя с учетом древесиноведческих эффектов.

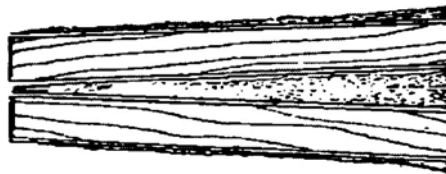


Рис. 3. Способ раскряя полуфабрикатов с гнилью параллельно образующей [4]

В древесиноведении при изучении макроструктуры древесины выделяют заболонь и ядро. При этом отмечают [3, 9], что в растущем дереве заболонь – живая, периферическая зона древесины, ядро – мертвая, центральная зона, не участвующая в физиологических процессах. Заболонь служит для проведения влаги вверх по стволу (из корней в крону) и для отложения питательных веществ. Ядро образуется при отмирании живых элементов древесины, что связано с жизнедеятельностью кроны. Исследованы вопросы распределения влаги в ядре и заболони в течение года (рис. 4 [9]) у древесины березы, ели и сосны. О неравномерности распределения влаги по радиусу в каждой зоне не сообщается. Также не сообщается о роли сердцевины и окружающей ее зоны для роста дерева. Отмечены [8] лишь пониженные физико-механические свойства ядра и возможность образования



Рис. 4. Изменение влажности заболонной (1) и ядровой (2) древесины ели в течение года [9]

трещин от усушки на неперерезанных годовичных кольцах в сердцевых пиломатериалах.

Для установления закономерностей в распределении влаги в стволе по радиусу было решено провести экспериментальные исследования в различных сечениях хлыста. Образцы отпиливали от комлевой части каждого бревна при раскряжке хлыстов. Места вырезки образцов (0 – 4...) из хлыста длиной ≈ 21 м показана на рис. 5, а (n – номер хлыста).

Все образцы обмеряли от сердцевины по восьми радиусам (рис. 5, б). При этом определяли размер и возраст ядровой зоны, размер и возраст заболони, размер и возраст сечения ствола. Такая схема обмера позволяет восстановить «биографию» ствола.

После разметки по направлениям и радиусам выкалывали образцы по годовым кольцам, взвешивали их и сушили. Результаты сушки позволили оценить распределение влаги по радиусу (рис. 6) и пересмотреть роль сердцевины в жизни дерева, предположить причину растрескивания при сушке древесины, а также предложить способ его устранения.

Экспериментально установлена неравномерность распределения влаги по радиусу в ядровой зоне: влажность сердцевины составляет 45 ... 80 %, средней зоны ядра – 20 ... 35 %, на границе с заболонью – 60 ... 70 %; влажность заболонной зоны – 70 ... 155 %.

Усушка неокоренного бревна начинается с торцов в средней зоне, окруженной изнутри и снаружи более влажными зонами, препятствующими радиальному усыханию. В результате наружные слои ядра беспрепятственно усыхают только по периметру. При этом в них возникают многочисленные радиальные трещины, не выходящие за пределы зоны. К началу усушки сердцевинной и заболонной зон уже средняя зона препятствует их радиальной усушке; усушка по периметру происходит свободно, трещины из средней зоны распространяются во все остальные.

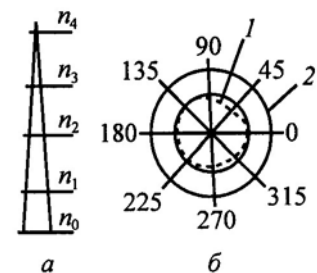


Рис. 5. Схемы вырезки образцов: а – при раскряжке хлыста, б – при обмере сечения

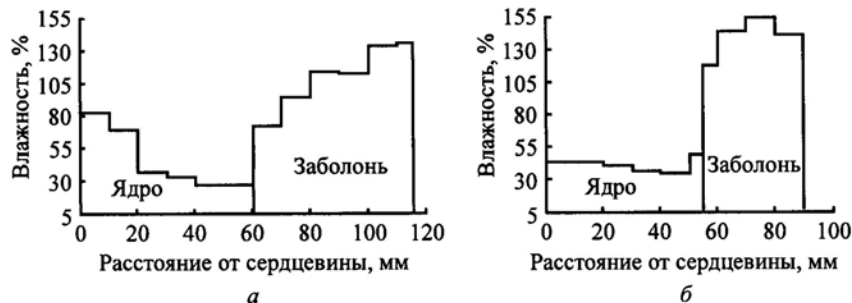


Рис. 6. Распределение влаги по радиусу в комлевом бревне хлыста:
a – комлевое сечение; *б* – вершинное сечение

Окорка бревен перед распиловкой приводит к быстрому высыханию наружных заболонных слоев и началу их растрескивания. Повреждения древесины при этом тем больше, чем позднее будет распиловка окоренного бревна. Следовательно, чтобы сохранить прочностные свойства окоренной древесины, распиловка должна начинаться вслед за окоркой, минуя стадию накопления распиловочной партии, как это происходит при сортировке бревен по диаметрам. Это возможно только при индивидуальном раскоре бревен. Операции окорки и распиловки должны быть максимально приближены друг к другу.

Для дополнительной проверки выдвинутой схемы образования трещин у отдельных образцов с помощью лобзика выпиливали заболонь в виде кольца и обе части (ядро и заболонь) сушили отдельно. В результате заболонные кольца высыхали без трещин, а ядровая часть растрескивалась до сердцевины. Радиальная усушка обеих частей оказалась одинаковой.

При исследовании строения древесины и распределения влаги, было обнаружено, что в продольном сечении бревна существует несколько зон, характеризующих процесс роста древесины сосны (рис. 7).

Граница, отделяющей ядровую зону от заболонной, очень четкая и проходит, большей частью, по древесине одного возраста. Встречаются случаи перехода границы в область более молодой древесины, которые свиде-



Рис. 7. Продольный разрез комлевого бревна:
 1 – заболонь; 2 – граница «заболонь–ядро»; 3 – ядро;
 4 – зона непрерывного роста сердцевинной древесины; 5 – зона роста ствола до 4 м

тельствуют о более позднем переходе части древесины в разряд спелой, ядровой.

На основании этих фактами была предложена следующая гидротехническая модель ствола растущего дерева. Ствол представляет собой многоканальную (многокапиллярную) разветвленную влагонепроводящую систему, каждый канал которой заканчивается на потребителе – хвое, испаряющей влагу через открытый капилляр, самый тонкий на всем протяжении от корней до вершины. При испарении на поверхности влаги образуется вогнутый мениск и сила тяги, способствующая движению по капилляру. При повреждении ветки прекращается движение влаги по капиллярам ствола, влажность снижается и древесина переходит в разряд спелой. Каждый год на все большей высоте появляются новые ветви, куда подают влагу более тонкие капилляры, которые шунтируют старую влагонепроводящую систему, ускоряя отмирание немногочисленных веток нижних уровней.

В принципе возможно базирование и распиловка бревен по границе «заболонь – ядро» с учетом размеров и спецификаций. В пределах каждой зоны влажность меняется незначительно, следовательно, использование этого эффекта в лесопилении позволит сушить пиломатериалы, полученные из различных зон, по индивидуальным режимам и таким образом повысить производительность сушильных камер.

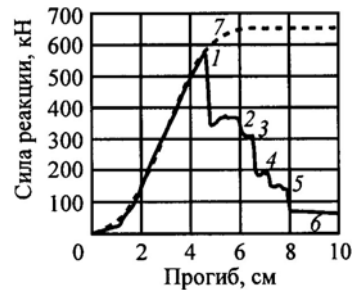
В начале 60-х годов существовала гипотеза о связи прочности древесины с ее модулем упругости. Эксперименты показали, что коэффициент корреляции между этими величинами изменяется от 0,8 до 0,5 в зависимости от места выпилки доски из бревна и от внутренних напряжений в доске. В работе [7] была доказана зависимость прочности от продолжительности приложения нагрузки, но эта гипотеза не закрепилась на практике. В целом же проблема неразрушающих испытаний сохраняется до сих пор.

В работе [5] использована цифровая регистрация результатов деформирования и нагружения, что позволило выявить закономерности развития силы реакции материала при деформировании, а также разрушения как при длительном нагружении постоянной нагрузкой, так и при длительном деформировании.

Образцы готовили из пиломатериалов, выпиленных при базировании бревна по оси поставы и имевших продольный наклон волокон. При поперечном изгибе в растянутой зоне образца в перерезанных волокнах возникали (как в изогнутой консоли) силы, растягивающие волокна в радиальном направлении, что приводило к отщеплению и снижению силы реакции. Отщепы могут происходить многократно, до полного отщепления всех перерезанных слоев. В этом случае отщеп следует рассматривать как консоль, к которой приложена равномерно распределенная сила, растягивающая консоль поперек волокон. А в этом направлении древесина обладает наименьшей прочностью.

Теоретически это означает, что такую древесину следует рассматривать как неоднородное многокомпонентное анизотропное тело, каждый компонент которого имеет свою предельную деформацию и силу реакции

Рис. 8. Полная диаграмма силы реакции образца с перерезанием годовых слоев при поперечном изгибе: с 1 по 6 – моменты с первого по шестое разрушение; 7 – аппроксимирующая кривая



(рис. 8), причем сумма сил реакции всех компонентов меньше силы реакции материала без перерезания волокон.

Практически это означает, что для получения пиломатериалов с высокими прочностными показателями целесообразно распиловку бревен и брусьев выполнять параллельно боковым образующим, а еще лучше – параллельно границе «заболонь – ядро». В этих случаях перерезание волокон будет минимальным, пиломатериал будет реагировать на приложенную нагрузку как однородный, а прочность и деформативность будут выше.

На кафедре АТПиП разработан алгоритм индивидуального раскроя бревен на однопильном ленточнопильном станке с базированием вершинного и комлевого торцов по касательным к границам «заболонь – ядро» (рис. 9). С помощью двух видеокамер изображения передают на монитор оператору (одно изображение приходится предъявлять оператору отраженным слева направо, как бы просвечивая все бревно насквозь), куда одновременно проецируются линии положения пилы 1 на каждом кадре. Оператор вводит на экраны касательные к границам «заболонь – ядро» 2, после чего

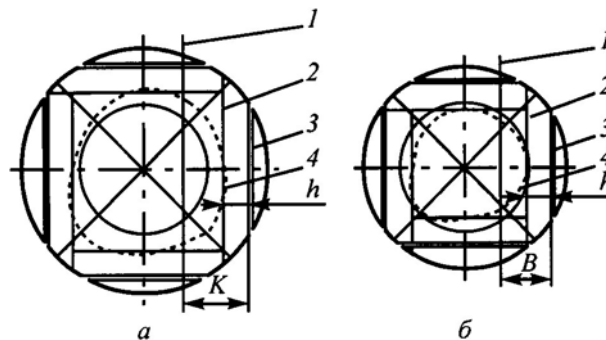
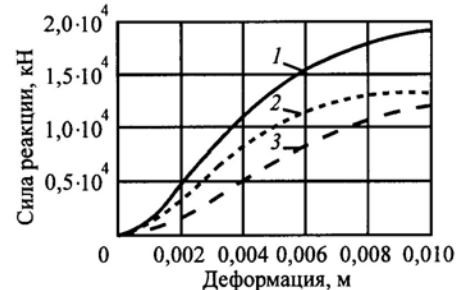


Рис. 9. Схема обработки изображений торцов: а – комлевой торец; б – вершинный торец (h – толщина подгорбыльной доски); 1 – линия положения ленточной пилы; 2 – касательная к границе «заболонь–ядро»; 3 – линия пропила; 4 – граница «заболонь–ядро»; B – смещение вершинного торца при базировании; K – смещение комлевого торца при базировании (окружности и тонкие линии на рисунке – результат использования графического редактора для построения изображения торцов)

Рис. 10. Диаграммы силы реакции при поперечном изгибе трех образцов с различным резервом деформации ($X_{01} = 1,5X_{02}$; $X_{02} = X_{03}$), предварительной деформацией ($X_{p1} = 0,002$ м; $X_{p2} = 0,003$ м; $X_{p3} = 0,007$ м) и различной скоростью деформирования ($v_1 = v_2 = v$; $v_3 = 0,2 v$; $v = 1 \cdot 10^{-4}$ м·с⁻¹)



система управления намечает линию пропила 3 и смещает торцы на расстояния *B* и *K* соответственно. Схема раскроя — круговая в развал, распиловка бруса может выполняться полупоставами на лесопильной раме [10]. Задача о неразрушающем способе оценки механических свойств древесины при поперечном изгибе решена в работах [5, 6].

Приведенные на рис. 10 диаграммы силы реакции при поперечном изгибе пиломатериалов отражают внутреннее строение древесины, которое обуславливает максимальную силу реакции, и предысторию — деформацию, испытанную материалом, а также влияние скорости деформирования во время испытаний.

Экспериментальные данные, по которым построена диаграмма (рис. 11), использованы для вычисления коэффициентов предложенного уравнения регрессии:

$$Y = Pe^{\frac{(-t)}{T_0}} \left[1 - e^{\frac{(-X)}{X_0}} \right] \left[1 - e^{\frac{(-X)}{X_p}} \right], \quad (1)$$

где Y — сила реакции образца, Н;

P — максимальная сила реакции материала до опыта, Н;

X — деформация, м;

t — продолжительность деформирования, с

T_0 — постоянная разрушения, с;

X_0 — деформация, соответствующая максимальной силе реакции, м;

X_p — максимальная деформация, ранее испытанная древесиной, м.

Пунктирная диаграмма на рис. 11 построена по результатам расчета. Максимальное расхождение между расчетным и экспериментальным значением не превысило 1 % (рис. 11, б). Существующие корреляционные способы не обладают такой точностью прогноза [11].

На основании результатов вычисления коэффициентов уравнения (1) также имеется возможность рассчитать долговечность пиломатериала (продолжительность пребывания образца под фиксированной нагрузкой):

$$\tau = T_0 \ln \left(\frac{P}{Y_p} \right), \quad (2)$$

где Y_p — нагрузка, для которой рассчитывают долговечность, кН.

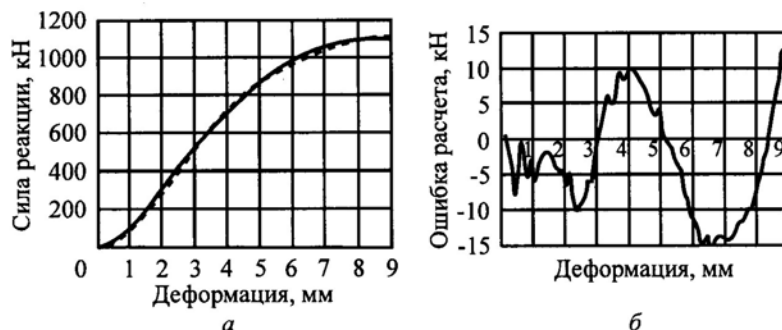


Рис. 11. Диаграммы деформирования образца без перерезания волокон (поперечный изгиб; ель; $38 \times 75 \times 700$ мм; скорость деформирования – $1 \cdot 10^{-4}$ м · с⁻¹): а – экспериментальная (сплошная линия) и расчетная (пунктирная линия); б – ошибка расчета

Программа для вычислений коэффициентов уравнения (1) разработана на кафедрах АТПиП и теоретической механики АГТУ. По коэффициентам P , X_0 , T_0 и X_p позволяют сортировать пиломатериалы по новой совокупности потребительских требований, гарантировать жесткость и долговечность деревянных конструкций.

На практике при расчетах конструкций на прочность принимают усредненные показатели прочности материала и вводят коэффициент запаса прочности, который учитывает вариацию прочностных свойств. Естественно, что за недостаток информации о фактических свойствах конкретного образца приходится платить перерасходом материала в конструкции. Применяя неразрушающий метод оценки механических свойств, можно сортировать конструкционные материалы по группам прочности, коэффициентам упругости и долговечности.

При испытании на статический изгиб 80 образцов из древесины ели размерами $38 \times 75 \times 750$ мм³ (толщина – ширина – длина) получено распределение по группам прочности (см. таблицу).

Нормативный предел прочности $[\sigma]$, МПа	Количество, шт	Встречаемость %	Доля образцов М, %
30	7	8,75	100,0
38	10	12,50	91,25
48	31	38,75	78,75
60	19	23,75	40,00
75	9	11,25	16,25
95	4	5,00	5,00
Всего	80	100,0	–

Предел прочности рассчитывали по формуле

$$[\sigma] = Y_{\text{пред}} \cdot l / (b h^2),$$

где $Y_{\text{пред}}$ – предельная сила реакции, кН;

l – длина пролета, м;

b – ширина, м;

h – толщина, м;

M – доля образцов, прочность которых превышает прочность предыдущей группы.

Высокая точность расчета коэффициентов создает предпосылки для повышения эффективности производства и применения пиломатериалов.

Первая возможность повышения эффективности производства создается при сортировке пиломатериалов по прочности на базе уравнения (1) и выборе группы прочности согласно требуемому нормативному пределу прочности. Для замены пиломатериалов одной группы прочности на пиломатериалы другой группы при одной и той же предельной нагрузке $Y_{\text{пред}}$, длине и ширине необходимо обеспечить соблюдение пропорции:

$$[\sigma_1] h_1^2 = [\sigma_2] h_2^2,$$

откуда

$$h_2 = h_1([\sigma_1] / [\sigma_2])^{0,5}.$$

Например, вместо пиломатериалов с пределом прочности $[\sigma_1] = 30$ МПа и толщиной 44 мм можно использовать пиломатериалы толщиной 38 мм и пределом прочности $[\sigma_2] \geq 48$ МПа. При этом для замены пригодно 78,75 % пиломатериалов, что дает экономию объема:

$$\Theta_1 = 78,75(44/38 - 1) = 12,5 \ %.$$

Пиломатериалы толщиной 38 мм и пределом прочности > 60 МПа могут быть использованы вместо пиломатериалов толщиной 50 мм с пределом прочности 30 МПа. При этом для замены пригодно 40 % исходных пиломатериалов, что обеспечит с учетом первого варианта замены следующую экономию объема:

$$\Theta_2 = (78,75 - 40)(44/38 - 1) + 40(50/38 - 1) = 18,5 \ %.$$

Аналогичные расчеты можно провести и на основании встречаемости пиломатериалов по группам прочности, установленной в работе [11].

Вторая возможность повышения эффективности производства пиломатериалов заключается в корректировании цены на них в соответствии с группой прочности. Воспользуемся соотношением

$$C_i = C_1([\sigma_i] / [\sigma_1])^{1/3},$$

где C_i – цена i -й группы прочности;

1 – номер самой слабой группы прочности;

C_1 – существующая цена пиломатериалов;

$[\sigma_i]$ – нормативный предел прочности i -й группы пиломатериалов.

Третья возможность повышения эффективности производства заключается в бережном отношении к сырью: на всех транспортных и технологических операциях следует избегать ударов и длительных нагрузок и деформаций, приводящих к существенному снижению долговечности и упругости древесины.

Выводы

1. Эффективность лесопильного производства может быть повышена на основе учета неравномерности распределения влаги в стволе по радиусу и высоте.

2. Имеется возможность оценивать качество пиломатериалов по механическим свойствам: упругости, деформативности и прочности (с оценкой долговечности).

3. Прочностные свойства пиломатериалов могут быть повышены за счет сокращения времени доставки пиловочника от лесосеки до места распиловки, незамедлительного индивидуального раскря бревен после окорки, а также применения нового способа базирования бревен по линии заболонь – ядро, при котором перерезание волокон древесины минимально.

4. Прочностные свойства пиломатериалов могут быть сохранены при бережном отношении к лесосырьевым ресурсам на всех транспортных и технологических операциях: избегать ударов при погрузочно-разгрузочных операциях с круглыми лесоматериалами, длительных нагружений пиломатериалов в многометровых сушильных штабелях, а также не допускать свободного падения пиломатериалов на автоматизированных сортплощадках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов, П.П. Теоретические основы раскря пиловочного сырья [Текст] / П.П. Аксенов. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. – 216 с.

2. Алексеев, А.Е. Расчет рациональных поставок на распиловку бревен при их ориентации по образующей [Текст] / А.Е. Алексеев, А.Л. Рогатых, Е.Г. Царев // Лесн. и деревообаб. пром-сть: информ. сб. / ВНИПИЭИлеспром. – 1990. – № 10. – С. 14–15.

3. Боровиков, А.М. Справочник по древесине [Текст] / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев; под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.

4. Ветшева, В.Ф. Требования к потокам для распиловки хвойных бревен с гнилью [Текст] / В.Ф. Ветшева, И.А. Айзенберг // Вопросы эффективности лесопильного производства: науч. тр. / ЦНИИМОД. – 1989. – С. 91–96.

5. Дунаев, В.Ф. Исследование принципов сортировки пиломатериалов на базе технических средств [Текст]: отчет по теме №1174 / В.Ф. Дунаев. – Арх-ск: ЦНИИМОД, 1985.

6. Дунаева, В.В. Прогнозирование механических свойств пиломатериалов [Текст] / В.В. Дунаева, В.Ф. Дунаев // Лесн. журн. – 1999. – № 2-3. – С. 127–132. – (Изв. высш. учеб. заведений).

7. Журков, С.Н. Временная зависимость прочности твердых тел [Текст] / С.Н. Журков, Б.Н. Нарзуллаев // ЖТФ. – Т. XXIII, вып. 10. – С. 1677–1689.

8. *Леонтьев, Н.Л.* Влияние влажности на физико-механические свойства древесины [Текст] / Н.Л. Леонтьев. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1962.
9. *Перелыгин, Л.М.* Древесиноведение [Текст] / Л.М. Перелыгин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 320 с.
10. *Сидоров, И.И.* Распиловка двухкантных брусьев параллельно образующей [Текст] / И.И. Сидоров // Лесн. журн. – 1975. – № 3. – С. 76–81. – (Изв. высш. учеб. заведений).
11. *Соболев, Ю.С.* Древесина как конструкционный материал [Текст] / Ю.С. Соболев. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 248 с.
12. *Турушев, В.Г.* Совершенствование параметров поставок для распиловки бревен параллельно образующей [Текст] / В.Г. Турушев, А.Е. Алексеев, Е.Г. Царев // Технология и оборудование деревообработ. производств: межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА. – Л., 1992. – С. 38–44.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 31.05.05

V.F. Dunaev

Sawmilling: from Geometry to Physics, Mechanics and Technology

The way of individual log sawing is offered taking into account the irregular humidity distribution in logs according to radius and length and non-destructive method of strength assessment, deformability and durability of sawn timber.
