

В.С. Морозов, И.Н. Беляев Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Морозов Владимир Станиславович родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт имени В.В. Куйбышева, доктор технических наук, профессор кафедры строительной механики и сопротивления материалов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 50 печатных работ в области строительства и эксплуатации зимних лесовозных дорог. E-mail: v.morozov@agtu.ru



Беляев Иван Николаевич родился в 1985 г., окончил в 2008 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры строительной механики и сопротивления материалов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 5 печатных работ в области исследований физико-механических свойств сухойстойной древесины и проблем ее использования. Тел.: 8(8182) 23-46-76



ОЦЕНКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СОРТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУХОСТОЙНЫХ СТВОЛОВ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Разработана математическая модель хлыста, полученного из ствола сухойстойной или усыхающей ели обыкновенной (*Picea Abies*), произрастающей на территории Архангельской области и описывающей его основные сортовые характеристики.

Ключевые слова: древесина, сухойстой, моделирование, сорт, лесозаготовки.

При описании сухойстойной древесины как сырья для технологической обработки и совершенствования технологии проведения лесозаготовительных работ в усыхающем еловом древостое необходимо иметь полное представление о сортовых характеристиках стволов, произрастающих в таких древостоях.

Под термином «сортовые характеристики» понимаем следующую совокупность характеристик:

- геометрические характеристики - диаметр хлыста в произвольном сечении, длина хлыста и сбег;
- наличие пороков и их размерно-количественные характеристики согласно ГОСТ 2140-81 [4];
- пороки, присущие здоровым стволам (строение ствола, сучки и др.);
- пороки, присущие усыхающим и сухойстойным стволам (гнили, трещины, червоточины).

Категория дерева - здоровое, усыхающее, сухойстой текущего года, сухойстой прошлых лет [12].

Наиболее предпочтительной формой представления этих характеристик является набор вероятностных законов, полученных в результате обработки статистических данных. Объединение полученных закономерностей и их соответствующее математическое представление позволит получить математическую модель хлыста.

Для выполнения этой задачи проведено лесопатологическое обследование на территории Карпогорского лесничества Архангельской области на общей площа-

ди около 1 га и Архангельского лесничества Архангельской области на общей площади около 0,5 га. Статистическая обработка данных осуществлялась согласно ГОСТ 16483.0-89 [3], а также при помощи общих методов математической статистики и теории вероятностей.

Для описания формы ствола использовали степенную функцию (полином) Петровского [11], которая в общем виде имеет вид

$$D(l) = d_{0,5} \left[a_4 \left(\frac{l}{H} \right)^4 + a_3 \left(\frac{l}{H} \right)^3 + a_2 \left(\frac{l}{H} \right)^2 + a_1 \left(\frac{l}{H} \right) + a_0 \right], \quad (1)$$

где $D(l)$ – диаметр ствола на удалении от комля на расстояние l м;

$d_{0,5}$ – диаметр на половине длины хлыста;

H – длина хлыста;

a_0, \dots, a_4 – коэффициенты, уникальные для конкретной породы.

Коэффициенты $a_0 \dots a_4$ были определены при обследовании усыхающего древостоя на территории Карпогорского лесничества Архангельской области путем обмера 200 стволов ели обыкновенной и последующей обработки полученных данным методами математической статистики.

Значения коэффициентов $a_0 \dots a_4$ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов степенной функции (1), описывающей ствол ели обыкновенной, произрастающей на территории Архангельской области

Коэффициент	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0
Значение	0,009	-1,917	3,091	-2,068	1,481

Выборка диаметров на высоте 1,3 м от комля стволов ели обыкновенной, произрастающей на территории Архангельской области, с достаточной точностью описывается нормальным законом вида (2) согласно данным распределения деревьев по ступеням толщины, приведенным в [10]:

$$f(d) = \frac{1}{7,69\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d_i - 20,64)^2}{2 \cdot 7,69^2}}, \quad (2)$$

где d_i – диаметр ствола на высоте 1,3 м от комля.

Длина хлыста является величиной, зависящей от его диаметра в заданном сечении, и определяется по таксационным таблицам и результатам натурных обследований. Для определения длины хлыста нами использовались таксационные таблицы [1, 13], обобщенная характеристика еловых древостоев Архангельской области [15], а также результаты собственных исследований.

Для решения задачи по определению частоты встречаемости основных сортообразующих пороков в стволах усыхающей и сухостойной ели обыкновенной было проведено локальное лесопатологическое обследование со сбором соответствующей информации с каждого обследованного дерева. В качестве объекта обследования был выбран усыхающий еловый древостой, находящийся на территории Карпогорского лесничества Архангельской области. Критерием для выбора участка леса послужило значительное преобладание на его территории количества усыхающих и сухостойных деревьев над количеством здоровых, ввиду существенного запаса сухостойной древесины в этой области.

В качестве методики обследования был избран сплошной поштучный контроль каждого экземпляра древостоя с составлением на него индивидуальной учетной кар-

точки. В карточку заносились: давность усыхания дерева, диаметр ствола на высоте 1,3 м от комля, информация по наличию или отсутствию основных сортообразующих пороков, их размерно-количественные характеристики. Давность усыхания дерева определялась посредством визуального обследования ствола и кроны по методике, приведенной в [12]. Все обследованные экземпляры были разбиты на 3 группы – здоровые деревья (категории 1–4); сухостой текущего года, сухостой прошлых лет (соответственно, категории 5 и 6). Наличие пороков в стволах обследованных деревьев определялось путем выявления характерных внешних признаков согласно [4]. Учитывались только те пороки, повышенное интенсивное развитие которых в стволе дерева характерно для процесса усыхания (гнили, червоточины, трещины). Информация по сортообразующим порокам, характерным также для здоровых деревьев (сучки, пороки строения ствола и др.) не оценивалась. Дополнительно измерялись диаметры каждого обследованного ствола через каждые 10 см его длины.

Сухие деревья насаждения характеризовались интенсивной дихромацией и отпадом хвои, отпадом коры и ветвей, наличием на стволах внешних признаков грибных заболеваний, следов жизнедеятельности древесных энтомофитов, а также трещин различной глубины и относительной к длине ствола продолжительностью. У 8% осмотренных деревьев была обломлена верхняя часть ствола, 7% деревьев вывалились в валежник. Также выявлено значительное количество молодого елового подроста.

Из общего количества обследованных деревьев 52,90% были отнесены к сухостой прошлых лет; 36,50% – к сухостой текущего года; 5,90% – к усыхающим деревьям; 4,70% – к здоровым деревьям. Общая частота встречаемости основных сортообразующих пороков (гнили, червоточины) среди деревьев 2, 3 групп составила: гнили – 33%; червоточины – 62%, трещины различной конфигурации – 60%.

Известно, что встречаемость пороков в стволах усыхающих деревьев нелинейно зависит от их диаметра [6, 14]. В связи с этим, по итогам статистического анализа данных, полученных в ходе обследования древостоя, нами была построена экспериментальная кривая, характеризующая зависимость вероятности присутствия того или иного сортообразующего порока в стволе от его диаметра на высоте 1,3 м от груди. После интерполяции кривой при помощи полиномиальной функции были получены математические уравнения, описывающие природу распространения пороков в усыхающем древостое. Конечная кривая была построена в пределах ступеней толщины ствола.

По итогам обработки полученных данных установлено, что в общем случае функциональная зависимость (*вероятность присутствия порока в стволе, %*) – (*диаметр ствола, см*) может быть представлена в виде

$$P = ad^2 + bd + c, \quad (3)$$

где a, b, c – коэффициенты;

d – диаметр ствола, см;

P – вероятность присутствия порока в стволе, %.

Значения коэффициентов a, b, c для стволов 2, 3 групп представлены в табл. 2.

Графики функциональных зависимостей $P = f(d)$ для гнилей, трещин и червоточин в стволах 2, 3 групп представлены на рис. 1.

Видно, что встречаемость всех трех оцениваемых пороков находится в прямой зависимости от диаметра. Частота встречаемости также возрастает с давностью усыхания дерева. Для гнилей эта тенденция проявляется особенно ярко (при переходе из 2 в 3 группу в среднем на 51%), для червоточин – значительно менее ярко (в среднем на 2%), для трещин – в среднем на 34%.

Таблица 2

Значения коэффициентов a , b , c для выражения (2)

Группа ствола	a	b	c
Для гнилей			
2	0,1357	-4,1926	46,8248
3	0,491	-15,1691	169,4144
Для трещин			
2	0,183	–	-60,23
3	0,253	–	-50,70
Для червоточин			
2	0,1821	-4,7734	86,5450
3	0,1897	-5,2975	96,0484

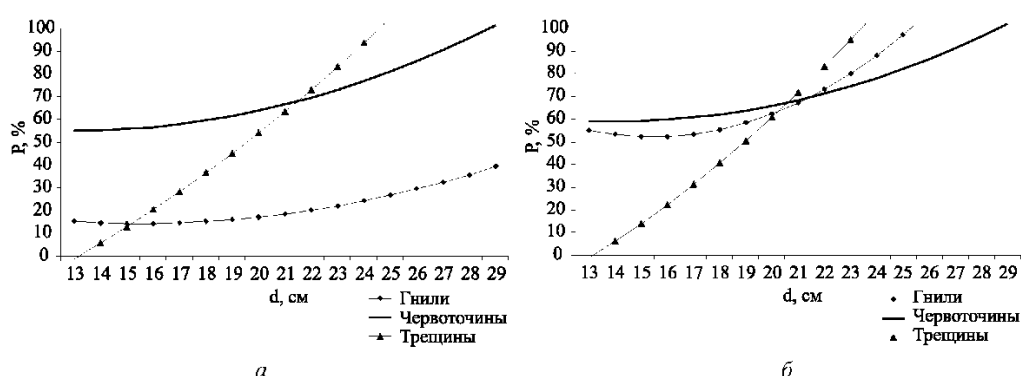


Рис. 1. Графики функциональных зависимостей встречаемости пороков в стволах 2-й (а) и 3-й (б) групп от их диаметра

Для деревьев первой группы (здоровых) встречаемость исследованных, а также прочих сортообразующих пороков была принята согласно известным данным для ели обыкновенной, произрастающей на территории Архангельской области, в стволах гнилей – 13,5%, червоточин – 0,4%, трещин – 2,2% [17].

Наличие гнили в стволах деревьев является одной из основных причин перевода их при сортировке в низкокачественное сырье (около 85% такого сырья содержит гнили различного рода). Следует также отметить, что напенная гниль, располагаясь в нижней части ствола, поражает наиболее ценную бессучковую зону древесины.

Наиболее распространенной разновидностью гнили в сухостойных стволах ели обыкновенной является напенная внутренняя гниль с протяженностью от комля ствола на 1–2 м. Стволовая гниль встречается реже [8, 9, 16]. Протяженность напенных гнилей в еловых насаждениях находится в пределах от 1,6 до 6,7 м [2]. Средняя протяженность гнили по длине ствола для ели Архангельской области составляет 3,94 м [7]. По расположению гнилей на срезах обследованных стволов преобладали заболонные и смешанные заболонно-ядровые гнили. Ядровые гнили в обследованной выборке стволов представлены не были, так как поражают преимущественно растущие деревья.

Согласно исследованиям, проведенным С.А. Громыко [6], диаметр гнили в комле ствола является случайной величиной, распределенной по нормальному закону. Общий вид распределения представлен выражением

$$f(G) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_g}} e^{-\left[\frac{(G - \bar{R})^2}{2D_g} \right]}, \quad (4)$$

где D_g – дисперсия радиуса гнили в комлевой части ствола;
 \bar{R} – математическое ожидание радиуса гнили в комлевой части ствола;
 G – радиус гнили в комле ствола.

В ходе выполненных исследований явно выраженной зависимости между этими параметрами выявлено не было (вероятно, это обусловлено не столь значительным варьированием значения диаметра модельного ствола, как в упомянутой работе), поэтому для дальнейшей работы использовали выражение

$$f(G) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot 0,013}} e^{-\left[\frac{(G - 0,059)^2}{0,026} \right]}. \quad (4^*)$$

Для описания параметров L_g и R применяли формулы, определенные С.А. Громыко [6] и описывающие форму напеченной гнили как усеченный параболоид:

$$L_g = 0,724 - 2,484d + 38,081d^2PG - 17,525dG^2; \quad (5)$$

$$R = 0,115 - 0,118L_g - 0,195d + 0,127L_g d + 0,022 L_g^2, \quad (6)$$

где L_g – относительная длина гнили;
 G – радиус гнили в комле ствола, м;
 d – диаметр ствола, м.

Относительная длина распространения трещин и их количество были приняты согласно данным обследования усыхающего древостоя.

Уравнения, описывающие глубину трещины T_g и ширину трещины T_w , были приняты по данным С.А. Громыко [6]:

$$T_g = 0,011 - 0,022 L_g - 0,028 L_g^2; \quad (7)$$

$$T_w = 0,043 - 0,057 L_g - 0,028 L_g^2. \quad (8)$$

Для моделирования трещин дополнительно введены два параметра для каждой из трещин – a (расстояние от начала трещины до комлевого сечения ствола) и b (угол от 0 до 360°, характеризующий расположение трещины на поперечном сечении ствола). Оба этих параметра приняты как случайные независимые величины.

Основным сортообразующим пороком здорового хвойного пиловочного сырья являются сучки, встречаемость которых в достаточном для сортообразования количестве в еловом пиловочнике Архангельской области составляет 63,9% [17]. Для описания встречаемости сучков и их размерных характеристик применяли данные [17].

При реализации модели сухостойного хлыста использовались экспериментальные данные, полученные при обследовании усыхающего древостоя, теоретические и практические данные о природе распространения пороков по длине хлыста и геометрических характеристиках ствола ели обыкновенной. Расчетная схема модели сухостойного хлыста представлена на рис. 2.

В настоящей статье описана математическая модель хлыста, полученного из ствола сухостойной или усыхающей ели обыкновенной, произрастающей на территории Архангельской области и описывающей его основные сортовые характеристики. Отличие данной модели от существующих заключается в описании не

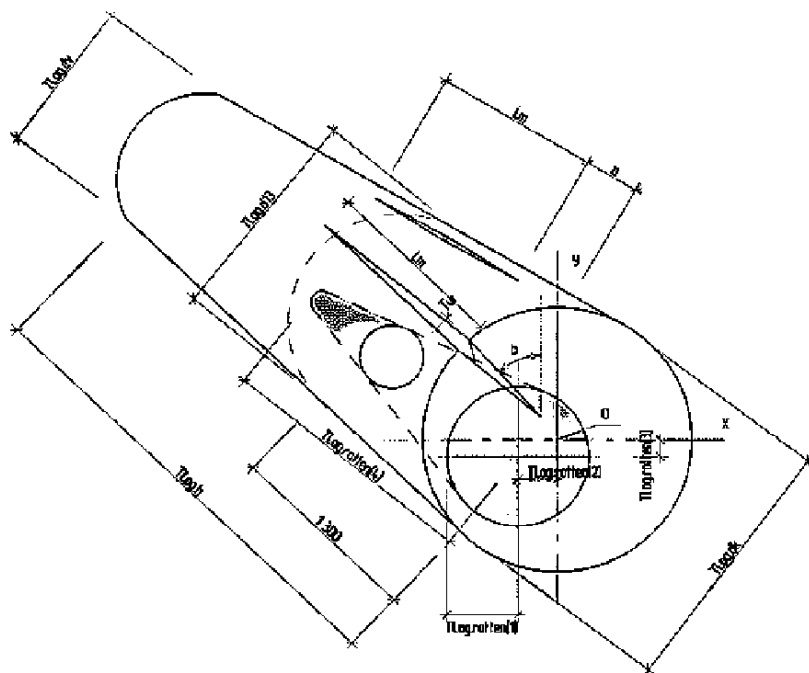


Рис. 2. Расчетная схема модели сухостойного хлыста:

TLog.d13 – диаметр хлыста в сечении, удаленном на 1,3 м от комля ствола без коры; TLog.h – длина хлыста; TLog.dv – диаметр хлыста в вершинном сечении; TLog.rotten[1] – радиус гнили в комле ствола; TLog.rotten[2], TLog.rotten[3] – соответственно, параметры x и y , характеризующие расположение гнили на поперечном комлевом сечении хлыста; TLog.rotten[4] – протяженность гнили по длине хлыста; Lt, Tш – соответственно, длина и ширина трещин

только геометрических характеристик хлыста, но также и основных сортообразующих пороков (наличие или отсутствие порока в хлысте, размерно-количественные характеристики). Описанную модель в дальнейшем можно использовать для оценки объемного и сортового выхода пиломатериала из древостоя, анализа эффективных схем раскряжевки, раскроя и других целей.

Практическая реализация модели осуществлена в виде программы для ПК [18], позволяющей генерировать неограниченное количество хлыстов с заданными пользователем начальными параметрами, а также производить их дальнейший анализ на основании действующих нормативов на круглые лесоматериалы. В качестве примера работы программы приведем решение задачи по оценке сортового выхода лесоматериалов в усыхающем древостое.

Условие задачи: предполагаемый к оценке древостой усыхает несколько лет. Средний диаметр деревьев в древостое – 22 см. Необходимо определить сортовой выход лесоматериалов при его разработке.

Решение:

1. В конфигурационном файле MUD.pas необходимо раскомментировать строку с номером 81 и задать для параметра log1.d13 значение 22. В противном случае диаметр ствола будет определен при помощи генератора случайных чисел и закона распределения (2).
2. Компиляция файла MUD.pas в среде Pascal.
3. Запуск MUD.exe
4. В начальном меню необходимо выбрать второй пункт – «Посортная экспертиза партии хлыстов».

```

Borland Pascal 7.0
Обработано 10000 хлыстов
Из них:
1 сорта: 0<0%>
2 сорта: 2361<23%>
3 сорта: 1227<12%>
4 сорта: 6412<64%>
Причина отбраковки в 4 сорт:
Гниль: 6259<97%>
Трещины: 440<6%>
Червоточины: 0<0%>
Причина отбраковки в 3 сорт:
Гниль: 3<3%>
Трещины: 0<0%>
Червоточины: 1225

```

Рис. 3. Интерфейс авторской программы с решенной задачей (к 4 сорту относились хлысты, не отвечающие требованиям ГОСТ 8486-98)

5. «Требуемое количество хлыстов» – для минимизации погрешности следует вводить число не менее 10000.
6. «Категория древостоя» – согласно условию задачи – 2 (СПЛ, сухой про- шлых лет).
7. Решение задачи. Окно программы с решенной задачей приведено на рис. 3.

14. *Сухих А.Н.* Анализ возможности получения радиальных пиломатериалов из перестойных древостоев сосны и лиственницы в лесосырьевых базах Среднего Приангарья / А.Н. Сухих // ГОУВПО «БрГТУ», г. Братск, РФ [Электронный ресурс]: режим доступа: http://science-bsea.bgita.ru/2003/leskomp_2003/suhih.htm.

15. *Тузов В.К.* Прогнозирование усыхания еловых насаждений / В.К. Тузов // Усыхающие ельники Архангельской области, проблемы и пути их решения. Сборник. Архангельск, 2007. С. 12-19

16. *Чупров Н.П.* К проблеме усыхания ельников в лесах европейского севера России / Н.П. Чупров // Там же. С. 66-71.

17. *Шалаев В.С.* Размерно-качественные особенности древесины ели и выработка из нее пиломатериалов повышенной сортности: дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / В.С. Шалаев. М., 1984. 245 с.

18. «Моделирование усыхающих еловых древостоев Архангельской области и анализ их сортового состава». Программа для ПК / И.Н. Беляев // [электронный ресурс]: режим доступа: code.google.com/p/adssm/.

Поступила 22.11.11

V.S. Morozov, I.N. Belyaev

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Evaluation and modeling of dehumidified dying Spruce trees characteristics at Arkhangelsk Region

A mathematical model describing the basic features of logs produced from a stem of a dying by dehumidification Spruce (*Picea Abies*) tree at Arkhangelsk Region has been developed.

Key words: spruce (*Picea Abies*), dying tree, modeling, grade, logging.