

**А.С. Торопов, А.Н. Соловьев**

**ОПТИМАЛЬНЫЙ РАСКРОЙ  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫХОДА СОРТИМЕНТОВ  
ДО И В ПРОЦЕССЕ ВАЛКИ ДЕРЕВЬЕВ**

*Введение.* Стволовую часть дерева условно можно разделить на пиловочную и балансовую зоны (рисунок). Под раскряжкой на стадии валки деревьев следует понимать поперечную распиловку пиловочной зоны дерева на сортименты согласно ГОСТ 9463-88 на круглые лесоматериалы хвойных пород (введен 01.01.91 г.) и ГОСТ 9462-88 на круглые лесоматериалы лиственных пород древесины (введен 01.01.91 г.). Схема раскряжки пиловочной зоны дерева определяется её размерами, фаутичностью (качеством) и сортиментным планом лесозаготовительного предприятия. Процесс радиональной раскряжки пиловочной зоны дерева заключается в следующем:

- из наиболее ценной части пиловочной зоны дерева (помповой здоровой части) получают сортименты лучшего качества, например, опоры для ЛЭП, всевозможные мачты и для других технических нужд;
- оставшаяся часть распиливается на сортименты с учетом качественно-го показателя, например пиловочника, фанерного кряжа и т. д.

Лесозаготовительные машины должны отвечать следующим основным технологическим требованиям:

- осуществлять раскряжку пиловочной зоны дерева с её максимальным выходом деловой древесины, причём, получить сортименты установленной ростом длины;
- раскряжевывать пиловочную зону дерева любых размеров;
- обеспечивать высокую производительность.

В производственных условиях определение объёмов круглых лесоматериалов производителя по ГОСТ 2708-75 (введен 01.01.77 г.). Представленные в нём таблицы составлены по сложным формулам на основании большого числа замеров. При пользовании таблицами для определения объёмов отдельных сортиментов погрешности достигают до  $\pm 10\%$ . При определении больших партий круглых лесоматериалов погрешность составляет  $\pm 2...3\%$ . Существуют 3 основных способа определения объёмов: аналитический, физический и табличный [Болдырев, 2002]. В настоящей работе модернизируется аналитический способ определения объёмов с индивидуальным подходом к предмету труда.

*Цель исследования.* Стратегическом направленном развитых лесозаготовок на современном этапе является создание ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих максимальный выход круглых лесоматериалов целенаправленно на конечный продукт.

В этой связи, целесообразно получать круглые лесоматериалы из пиловочной части дерева, пораженной напелными гнилями в виде комбинированного пиловочника [Торопов, 1993, 2009].

Современные информационные технологии должны базироваться на индивидуальном подходе к предмету труда, что в свою очередь требует математического описания поверхностей, формы пиловочной части дерева с учётом пораженности напелными гнилями.

Прогнозирование выхода конечной продукции лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств на стадии раскроя пиловочной части дерева в условиях лесосеки становится актуальной проблемой.

*Методология исследования.* Для вычисления объёмов пиловочной части дерева используем математическую модель определённых параметров на основе аллометрического метода [Торопов, 2007; Торопов, Соловьев, 2019].

Известно, что пиловочная часть дерева значительно поражается напелными гнилями.

Для описания формы поражения пиловочной части дерева напелными гнилями применяем аллометрический метод исследований.

С целью ресурсосбережения предлагаем пораженный участок пиловочной части дерева использовать (производить на лесосеке) в виде комбинированного пиловочника, включающего поражённый участок пикетной гнилью и стандартный сортимент.

Оптимальный раскрой и прогнозирование выхода пиловочника из пиловочной части дерева осуществлять после определения вариантов раскроя, используя метод исчерпывающего поиска и метод ветвей и границ «дерева» цели и на этой основе определения оптимального решения по критерию максимального выхода пиловочного в стоимостном выражении.

*Результаты исследования.* Согласно исследований [Торопов, 1993, 2007, 2009; Торопов, Соловьев, 2019] пиловочная часть дерева может быть представлена в виде

$$d_{\pi} = d_{o_{\pi}} + a_{\pi} l_{\pi}^{b_{\pi}}, \quad (1)$$

где  $d_{\pi}$ ,  $l_{\pi}$  – величины переменных факторов пиловочной части дерева;  $a_{\pi}$  – константа начального состояния;  $b_{\pi}$  – константа равновесия, передающая темп изменения  $d_{\pi}$  относительно  $l_{\pi}$ ;  $d_{o_{\pi}}$  – начальное значение исследуемого фактора  $d_{\pi}$ .

Согласно ГОСТ 9463-88 (1991 г.) круглые лесоматериалы хвойных пород и ГОСТ 9462-88 (1991 г.) круглые лесоматериалы лиственных пород  $d_{он}$  изменяются незначительно и при необходимости может быть принята за constant  $d_{он} = 0,14$  м.

Объем пиловочной части дерева будет равен

$$V_{п} = \frac{\pi}{4} \int_0^{l_{п}} (d_{он} + a_{п} l_{п}^{b_{п}})^2 dl_{п}. \quad (2)$$

После интегрирования объём пиловочной части дерева получим

$$V_{п} = \frac{\pi}{4} \left( d_{он}^2 l_{п} + 2 \frac{a_{п} d_{он}}{b_{п} + 1} l_{п}^{b_{п}+1} + \frac{a_{п}^2}{2b_{п} + 1} l_{п}^{2b_{п}+1} \right). \quad (3)$$

По аналогии с вышеизложенным объёмом пиловочной части дерева без коры определится

$$V_{пбк} = \frac{\pi}{4} \left( d_{онбк}^2 l_{пбк} + 2 \frac{a_{пбк} d_{онбк}}{b_{пбк} + 1} l_{пбк}^{b_{пбк}+1} + \frac{a_{пбк}^2}{2b_{пбк} + 1} l_{пбк}^{2b_{пбк}+1} \right). \quad (4)$$

Безусловно,  $l_{п} = l_{пбк}$ .

Тогда равенство (1) упростится

$$V_{пбк} = \frac{\pi}{4} \left( d_{онбк}^2 l_{п} + 2 \frac{a_{пбк} d_{онбк}}{b_{пбк} + 1} l_{п}^{b_{пбк}+1} + \frac{a_{пбк}^2}{2b_{пбк} + 1} l_{п}^{2b_{пбк}+1} \right). \quad (5)$$

При необходимости может быть определен объем коры  $V_{к}$

$$V_{к} = V_{п} - V_{пбк}. \quad (6)$$

Следует также учитывать то обстоятельство, что объем пиловочной части дерева может снижаться из-за всевозможных пороков древесины.

К наиболее частым порокам пиловочной части дерева следует отнести пораженность ее напенными гнилями.

Изменение диаметра гнили по длине пиловочной части дерева в соответствии с аллометрическим методом исследований [Торопов, 1993, 2009] имеет следующий вид:

$$d_{г} = d_{г_0} - a l_{г}^b, \quad (7)$$

где  $d_{г}$  – диаметр гнили в произвольном сечении, м;  $d_{г_0}$  – диаметр гнили в комле круглого лесоматериала, м;  $l_{г}$  – длина поражения гнилью, м;  $a$ ,  $b$  – соответственно константы начального состояния и равновесия, передающие темп изменения диаметра гнили ( $d_{г}$ ) относительно  $l_{г}$ .

Объём гнили ( $V_g$ ) определится

$$V_g = \frac{\pi}{4} \int_0^{l_g} (d_{гo} + al_g^b)^2 dl_g. \quad (8)$$

После интегрирования объём гнили ( $V_g$ ) будет равен

$$V_g = \frac{\pi}{4} \left( d_{гo}^2 l_g - 2 \frac{ad_{гo}}{b+1} l_g^{b+1} + \frac{a^2}{2b+1} l_g^{2b+1} \right). \quad (9)$$

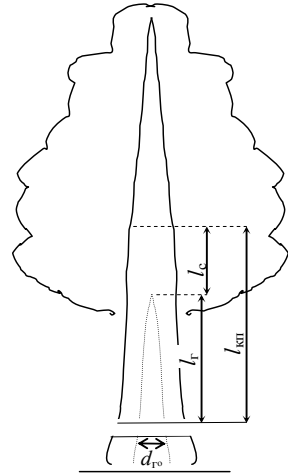
Тогда объём пиловочной части дерева без гнили ( $V_{пgr}$ ) будет равен

$$V_{пgr} = V_{п} - V_g. \quad (10)$$

С целью рационального раскроя пиловочной части дерева предлагается в процессе валки дерева с напенной гнилью получать комбинированный пиловочник длиной  $l_{кп}$ , включающий стандартный пиловочник длиной  $l_c$  и пораженную часть длиной  $l_r$  (рисунок) [Торопов, Микрюкова, 2008; пат. № 1794648, 1993; пат. № 2171175, 2001; пат. № 2399482, 2010; пат. 2515343, 2012].

Оптимизация поперечного раскроя пиловочной части дерева преследует цель анализа множества вариантов раскроя и определения оптимального решения по критерию максимального объёмного выхода сортиментов.

Схема раскроя пиловочной части дерева определяется её размерами, фаутичностью (качеством) и сортиментным планом. Для определения множества возможных решений используем с помощью метода исчерпывающего поиска Торопова и Домрачева, 2001<sup>1</sup>. Безусловно, при определении оптимального решения следует учитывать ограничения по длине пиловочной части дерева, по длине распространения напенной гнили и т. д. Для ограничения числа решений лучше использовать метод ветвей и границ (Торопов, 2001)<sup>1</sup>. Ограничения основываются на том, что каждое решение должно удовлетворять определённым ограничениям и нужно найти оптимальное решение.



Расчетная схема  
Design scheme

<sup>1</sup> Торопов А.С., Домрачев А.П. Оптимальный раскрой и прогнозирование выхода продукции деревообрабатывающих производств: учеб. пособие. Йошкар-Ола: Мар. ГТУ, 2001. 112 с.

Для всех частичных решений при определенном  $\min$  (длины обрезка) должно выполняться условие

$$f(a_1, a_2, \dots, a_{k-1}) \geq \dot{r}(a_1, a_2, \dots, a_{k-2}, a_k), \quad (11)$$

где  $f$  – функция (длина отрезка);  $a_1, a_2, \dots, a_{k-2}, a_k$  – частичные решения.

В условиях рыночных отношений раскрой пиловочной части дерева необходимо производить по индивидуальным схемам, которые бы учитывали выход продукции из древесины в оптимальном выражении

$$\frac{\sum_{i=1}^k C_i V_k}{V} \rightarrow \max, \quad (12)$$

где  $k$  – количество сортиментов, полученных из пиловочной части дерева;  $C_i$  – стоимость  $i$ -го сортимента;  $V_i$  – объём  $i$ -го сортимента;  $V$  – объём пиловочной части дерева.

При этом в качестве ограничения учитываются следующие условия:

$$\sum_{i=1}^n l_i \leq l_{\text{п.ч}}, \quad (13)$$

где  $l_i$  – длина  $i$ -го сортимента, полученного из пиловочной части дерева;  $n$  – количество сортиментов, полученных пиловочной части дерева;  $l_{\text{п.ч}}$  – длина пиловочной части дерева.

Для оценки стоимости производимых сортиментов необходимо иметь информацию о предмете труда с внешней стороны (диаметр в вершине сортимента, диаметр в комле сортимента, кривизна, сбег, овальность, закономерность и т. д. (Торопов, 2012)<sup>2</sup>), а также информацию о внутреннем соотношении древесины с изменением плотности, влажности, пределов прочности, пораженности всевозможными пороками.

Информацию о внутреннем состоянии древесины можно получить, используя устройство, основанное на методе измерения сопротивления сверлению древесины [Торопов, 2006, 2009, 2011; Шарипов, 2012, 2016].

*Выводы.* Разработана математическая модель определения параметров пиловочной части дерева до и в процессе валки дерева, включая и пораженность пиловочной части дерева напennыми гнилями.

---

<sup>2</sup> Торопов А.С., Микрюкова Е.В., Краснова В.Ф. Прогнозирование выхода продукции деревообрабатывающих производств: учеб. пособие. Йошкар-Ола: Поволжский гос. технол. ун-т, 2012. 148 с.

Разработана методика оптимального раскря пиловочной части дерева и прогнозирование выхода сортиментов в стоимостном выражении до и в процессе валки дерева.

Объяснение прогнозирования выхода пиловочника в стоимостном выражении на стадии валки дерева позволит не только рационально использовать пиловочную часть дерева, но и своевременно обновлять, модернизировать лесозаготовительное оборудование, предвидеть перспективы развития предприятия.

### Библиографический список

*Болдырев В.С.* Технологические основы раскря сырья и пиломатериалов: учеб. пособие. Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2002. 336 с.

*Торопов А.С.* Интенсификация производственных процессов поперечной распиловки лесоматериалов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: ЛТА. 1993. 31 с.

*Торопов А.С., Торопов С.А.; Микрюкова Е.В.* Исследование пораженности древесины напенной гнилью // Изв. вузов. Лесной журнал. 2009. № 4. С. 95–100.

*Торопов А.С.* Теория процессов поперечной распиловки лесоматериалов учеб. пособие. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2007. 228 с.

*Торопов А.С., Соловьев А.Н.* Определение параметров предмета труда лесозаготовки с целью прогнозирования выхода продукции на стадии валки деревьев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 227. С. 262–272.

*Торопов А.С., Торопов С.А., Микрюкова Е.В.* Совершенствование раскря комлевой части древесного ствола // Государственная политика в области познания и исполнения уголовных наказаний: сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. (Вологда, 20–21 ноября 2008 г.): В 2 ч. Вологда: ВИПЭ ФСИН России, 2008. 4.1. С. 384–386.

Способ производства круглых лесоматериалов: пат. № 1794648 РФ. Торопов А.С. Бюл. №6. 15.02.1993 г.

*Торопов А.С., Микрюкова Е.В.* Способ раскря хлыстов, пораженных сердцевинной гнилью // Вестник Московского гос. ун-та леса. Лесной вестник. 2008. № 4. С. 85–88.

Способ получения пилопродукции из хлыстов, пораженных сердцевинной гнилью: пат. № 2171175 РФ / Торопов А.С., Кропотова Е.В.; опубл. 27.07.2001, Бюл. № 21.

Способ раскря круглых лесоматериалов, пораженных сердцевинной гнилью: пат. № 2399482 РФ / Торопов А.С., Торопов А.С., Микрюкова Е.В.; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26.

*Торопов А.С.* Совершенствование раскря дуба, пораженного внутренней заболонью воздействием низких температур / А.С. Торопов, В.Р.Краснова / Изв. вузов Лесп. журн. – 2011. – №1. – с. 95-100.

*Торопов А.С., Шарапов Е.С.* Исследование плотности древесины березы, пораженной сердцевинной гнилью // Изв. вузов. Лесн. журн. 2006. №6. С. 34–43.

Пат. 2515343 МПК 6 G01N3/58. Устройство для измерения сопротивления сверлению / Шарапов Е.С., Чернов В.Ю., Торопов А.С. – №201251980/28; заявл. 04.12.2012; опубл. 10.05.2014, Бюл. №13. 3 с.

*Шарапов Е.С., Торопов А.С., Чернов В.Ю.* Результаты экспериментальных исследований свойств древесины круглых лесоматериалов по радиусу отвала. // Вестник Московского государственного университета леса – лесной вестник. 2012. №2. С. 162–167.

*Шарапов Е.С., Чернов В.Ю., Торопов А.С., Смиронова Е.В.* Влияние влажности на точность определения свойств древесины методом измерения сопротивления сверлению // Изв. вузов. Лесн. журнал. 2016. С. 103–113.

### References

*Boldyrev V.S.* Technological bases of cutting of raw materials and timber: studies. Grant. Voronezh: Voronezh. state. forest academician, 2002. 336 p.

*Toropov A.S.* Intensification of productions of cross sawing up of timber: author yew. Dr.Sci.Tech. SPb.: LTA. 1993. 31 p.

*Toropov A.S., Toropov S.A.; Mikryukova E.V.* Research of prevalence of wood napenny decay. *Izv. higher education institutions. Forest magazine*, 2009, no. 4, pp. 95–100.

*Toropov A.S.* Theory of processes of cross sawing up of timber of studies. grant. Yoshkar-Ola: Mari state technical university, 2007. 228 p.

*Toropov A.S., Solovyov A.N.* Determination of parameters of an object of the labor of logging for the purpose of forecasting of an exit of products for stages rolls of trees. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2019, is. 227, pp. 262–272.

*Toropov A.S., Toropov S.A., Mikryukova E.V.* Improvement of cutting of a komlevy part of a wood trunk. *State policy in the field of knowledge and execution of criminal penalties: Collection of materials of the international scientific and practical conference* (Vologda, on November 20–21, 2008). In 2 h. Vologda: VIPE FSIN of Russia, 2008, 4.1, pp. 384–386.

Way of production of round timber: stalemate. N 1794648. *Toropov A.S. Bulletin No. 6* 15.02.1993 of.

*Toropov A.S., Mikryukova E.V.* A way of cutting of the switches struck with a core decay. *Messenger the Moscow state. univ-that woods. Forest bulletin*, 2008, no. 4, pp. 85–88.

A way of receiving a piloproduct from the switches struck with a core decay: stalemate. No. 2171175. *Toropov A.S., Kropotova E.V. of Bulletin No. 21* 27.07.2001.

A way of cutting of the round timber struck with a core decay: stalemate. No. 2399482. *Toropov A.S., Toropov A.S., Mikryukova E.V. of Bulletin No. 26* 20.09.2010.

*Toropov A.S., Krasnova V.R.* Improvement of cutting of the oak struck with an internal sapwood low temperature impact. *Izv. higher education institutions Woods magazine*, 2011, no. 1, pp. 95–100.

*Toropov A.S., Sharapov E.S.* A research of density of wood of the birch struck with a core decay. *Izv. higher education institutions. Woods magazine*, 2006, no. 6, pp. 34–43.

Patent 2515343 Russian Federation MPK 6 G01N3/58. The device for measurement of resistance Drilling / E.S. Sharapov, V.Yu. Skulls, A.S. Toropov – No. 201251980/28; statement 04.12.2012; opubl. 10.05. 2014. Bulle No. 13, 3 p.

*Sharapov E.S., Toropov A.S., Chernov V.Yu.* Results of pilot studies of properties of wood of round timber on dump radius. *The Messenger of Moscow State University of the wood – the forest bulletin*, 2012, no. 2, pp. 162–167.

*Sharapov E.S., Chernov V.Yu., Toropov A.S., Smirnova E.V.* Influence of humidity on the accuracy of determination of properties of wood by method of measurement of resistance to drilling. *Izv. higher education institutions. Woods magazine*, 2016, pp. 103–113.

*Материал поступил в редакцию 04.09.2019*

---

**Торопов А.С., Соловьев А.Н.** Оптимальный раскрой и прогнозирование выходы сортиментов до и в процессе валки деревьев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 229. С. 176–184. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.229.176-184

В настоящей статье рассматривается новый подход к проблеме оптимального раскроя и прогнозирования выхода сортиментов до и в процессе валки деревьев. Авторы предлагают и теоретически обосновывают рациональный раскрой пиловочной части дерева по критерию максимального объемного выхода пиловочника в стоимостном выражении. В работе приведена математическая модель определения параметров половой части дерева на основе аллометрического метода исследований предмета труда и оптимального раскроя и прогнозирования выхода сортиментов до и в процессе валки деревьев с использованием метода исчерпывающего поиска и методы ветвей и границ.

Ключевые слова: лесозаготовка, раскрой, оптимизация, теория роста, аллометрия.

**Toropov A.S., Soloviev A.N.** Optimal cutting and prediction of assortment yields before and during tree felling. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2019, is. 229, pp. 176–184 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2019.229.176-184

In this article new approach to a problem of optimum cutting and forecasting of an exit of assortments to and in process rolls of trees is considered. Authors offer and theoretically prove rational cutting of a pilovochny part of a tree by criterion of the maximum volume exit of sawlog in value terms. In work the mathematical model of determination of parameters of a sexual part of a tree on the basis of an



allometric method of researches of an object of the labor and optimum cutting and forecasting of an exit of assortments to and is given in process rolls of trees with use of a method exhaustive search and methods of branches and borders.

**Key words:** logging, cutting, optimization, theory of growth, allometriya.

---

**ТОРОПОВ Александр Степанович** – ведущий научный сотрудник  
Поволжского государственного технологического университета, доктор  
технических наук.

424000, пл. Ленина д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия.

**TOROPOV Alexander S.** – DSc (Technical), Leading Researcher, Volga State  
University of Technology.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia.

**СОЛОВЬЕВ Александр Николаевич** – доцент, зав. кафедрой геодезии,  
землеустройства и кадастров Санкт-Петербургского государственного  
лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail:  
spb.soloviev@mail.ru

**SOLOVIEV Alexander N.** – PhD (Technical), assistant professor, Head of  
department Geodesy, land management and cadastres, St.Petersburg State Forest  
Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: spb.soloviev@mail.ru