

УДК 674.093:620.267

**А.С. Торопов<sup>1</sup>, В.М. Меркелов<sup>2</sup>, В.Ф. Краснова<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Марийский государственный технический университет<sup>2</sup>Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Торопов Александр Степанович родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры деревообрабатывающих производств Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки республики Марий Эл. Имеет более 180 печатных работ в области интенсификации процессов распиловки лесоматериалов.  
E-mail: kafedradop@mail.ru



Краснова Валентина Феликсовна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Марийский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры деревообрабатывающих производств МарГТУ. Имеет около 10 печатных работ в области раскроя круглых лесоматериалов.  
E-mail: 8felix@mail.ru



## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОГО ВЫХОДА ПИЛОПРОДУКЦИИ ПРИ РАСКРОЕ ХЛЫСТОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ**

Предложено математическое описание расчета выхода пилопродукции из хлыстов, загрязненных радионуклидами; на основании математической модели определены оптимальные схемы как раскрывки, так и продольного раскроя сортиментов на пилопродукцию.

*Ключевые слова:* радиоактивное загрязнение, математическая модель, хлыст, раскрывка.

В зоне радиоактивного загрязнения, возникшей в результате аварии на Чернобыльской АЭС, находится значительная часть лесного фонда ряда областей России. При эксплуатации таких лесов следует учитывать плотность радиоактивного загрязнения местности и применять такие способы переработки древесины, которые могут обеспечить получение древесной продукции с минимально допустимым радиоактивным загрязнением.

Государственными органами управления лесным хозяйством России в результате наземного поквартального радиационного обследования, проведенного в 1991–1994 гг. по ранее действовавшей методике [1], выявлено, что радиоактивному загрязнению при аварии на ЧАЭС подвергся лесной фонд площадью 982,6 тыс. га, находящийся в ведении Рослесхоза. Площади загрязненных цезием-137 земель лесного фонда на части территории пят-

надцати субъектов Российской Федерации (по состоянию на 1 января 1997 г.) приведены в таблице.

Брянские леса являются наиболее пострадавшими в России. Общая площадь государственного лесного фонда Брянской области, загрязненного радионуклидами, в 1990 г. составила 228,5 тыс. га (28,7 %) из 795,4 тыс. га лесов области, в результате повторного радиационного обследования в 1995 г. – 170,5 тыс. га.

Следует обратить внимание на то, что, как правило, наибольшее количество радионуклидов содержится в лесной подстилке и минеральном слое почвы. Из лесных ресурсов чаще всего наиболее загрязнены грибы, ягоды и напочвенный покров. У древесной растительности в большинстве случаев удельная радиоактивность коры, мелких веточек и листвы (хвои) значительно выше, чем древесины. Соответственно окоренная древесина содержит

Органы управления лесным хозяйством в субъектах РФ	Всего загрязне- но лесного фонда, тыс. га	В том числе по плотности загрязнения, Ки/км <sup>2</sup>			
		1...5	5...15	15...40	> 40
Управление лесами:					
Брянское	171,0	103,1	39,7	26,0	2,2
Калужское	177,8	132,6	43,8	1,4	–
Орловское	97,1	95,6	1,5	–	–
Рязанское	70,3	70,2	0,1	–	–
Смоленское	5,0	5,0	–	–	–
Белгородское	15,4	15,4	–	–	–
Воронежское	25,3	25,3	–	–	–
Курское	21,3	21,2	0,1	–	–
Липецкое	15,4	15,4	–	–	–
Тамбовское	1,7	1,7	–	–	–
Пензенское	148,4	148,4	–	–	–
Комитет по лесу:					
Тульской области	77,5	66,0	11,4	0,1	–
Ленинградской «	85,7	85,7	–	–	–
Ульяновской «	69,4	69,4	–	–	–
Госкомитет Республики Мордовия по лесу	1,3	1,3	–	–	–
<i>Всего</i>	982,6	856,3	96,6	27,5	2,2

меньше радионуклидов, чем неокоренная. В вершинной части окоренной древесины цезия-137 больше, чем в комлевой. Древесина в коре содержит приблизительно в 2 раза больше радионуклидов, чем окоренная древесина; наибольшее количество радионуклидов содержится в слоях, прилегающих к коре. Используя механическую обрезку наиболее загрязненных периферийных частей с корой, можно получать деловую древесину с допускаемыми уровнями радиоактивного загрязнения.

В условиях рыночной экономики обеспечение лесоперерабатывающей промышленности Брянской области сырьем и лесоматериалами за счет собственных лесосырьевых ресурсов без их истощения становится актуальной задачей, в решении которой важную роль должно сыграть рациональное использование древесины, заготовленной в районах, загрязненных радионуклидами.

В мировой практике наиболее распространенной является хлыстовая технология, по которой заготавливается более 70 % всей древесины. В нашей

стране заготовка и вывозка леса в хлыстах имеет безусловное преимущество.

Цель данного исследования – разработка математической модели определения выхода пилопродукции из хлыстов, загрязненных радионуклидами.

Трудности, возникающие при раскросе древесины, загрязненной радионуклидами, связаны с переносом радиоактивных элементов на пилопродукцию в процессе обработки режущим органом. Для решения этой проблемы нами разработаны новые способы раскряжевки хлыстов, загрязненных радионуклидами [3], и продольного раскроя полученных из них сортиментов [2]. Суть их заключается в том, что предварительно в местах намеченных продольных пропилов производится удаление верхнего 3-сантиметрового слоя, наиболее загрязненного радионуклидами, в продольном направлении сортимента, а затем – продольная распиловка. Ширина продольного удаляемого слоя должна быть больше ширины пропила для устранения контакта режущего инструмента с наиболее загрязненными слоями древесины.

Предварительно определяются геометрические параметры хлыста в коре, без коры, а также загрязненного слоя. Пользуясь аллометрическим методом, можно получить зависимости, описывающие образующую лесоматериала в коре, без коры и здоровой части:

$$\begin{aligned} d &= d_0 + a_1 l^{b_1}; \\ d_6 &= d_{60} + a_2 l^{b_2}; \\ d_{3,ч} &= d_{3,ч0} + a_3 l^{b_3}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $d, d_6, d_{3,ч}$  – соответственно диаметры хлыста в коре, без коры, а также здоровой части в произвольном сечении, м;

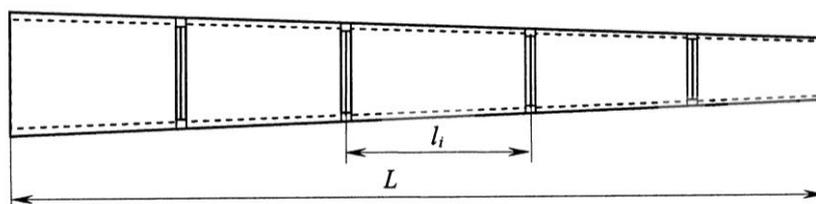
$d_0, d_{60}, d_{3,ч0}$  – соответственно диаметр лесоматериала в коре, без коры а также здоровой части в комле, м;

$a_1, a_2, a_3$  – константы начального состояния;

$l$  – расстояние от комля до произвольного сечения, м;

$b_1, b_2, b_3$  – константы равновесия, передающие темп изменения диаметра относительно  $l$ .

На рис. 1 представлена схема раскряжевки хлыста с пропилами в местах удаления загрязненного радионуклидами слоя с помощью специализированного оборудования. Используя формулы (1), можно определить геометрические параметры каждого сортимента после раскряжевки, а также выход бруса и другой пилопродукции из них.



Для уменьшения разброса степени дробности диаметров бревен на этапе раскряжевки хлыста необходимо определить длину бревна:

$$l_i = \frac{L_x \sqrt{D_x^2 - d^2}}{D_x^2 - d^2},$$

где  $L_x$  – длина хлыста, м;

$d_x$  – расчетный диаметр бревна, см;

$D_x, d$  – диаметр хлыста в комле и вершине, см.

Рассмотрим раскрой сортимента с получением бруса (рис. 2).

На первом этапе удаляют загрязненный радионуклидами верхний слой в местах предполагаемых пропилов. Ширина  $a$  этого слоя немного больше ширины пропила. Затем выполняют продольный раскрой сортимента с получением двухкантного бруса и боковых пиломатериалов. Боковые пиломатериалы обрезают по кромке. При этом вместе с обзолной рейкой удаляют и загрязненные радионуклидами периферийные части.

На втором этапе производят раскрой полученного двухкантного бруса. Сначала из центральной части выпиляют четырехкантный брус, а оставшиеся боковые части двухкантного бруса раскраивают вдоль на две части, из которых получают заготовки путем удаления загрязненной радионуклидами древесины по сбегу под углом к пластям.

Объем четырехкантного бруса, получаемого из  $i$ -го сортимента, загрязненного радионуклидами:

$$V_{бр} = B_i H_i l_i,$$

Рис. 1. Схема раскряжевки хлыста:  $l_i$  – длина  $i$ -го сортимента,  $L$  – длина хлыста

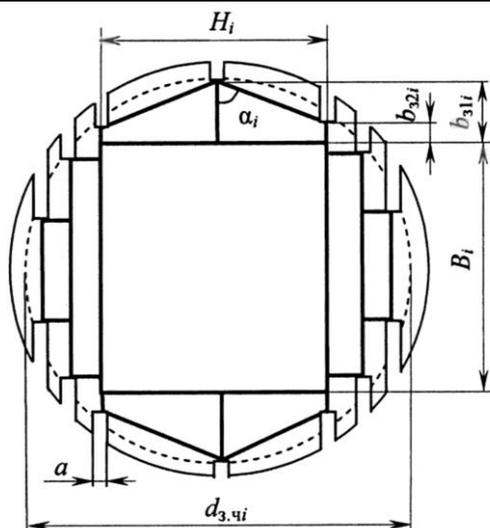


Рис. 2. Схема продольного раскроя сортимента

где  $B_i$ ,  $H_i$  – соответственно ширина и толщина четырехкантного бруса, полученного из  $i$ -го сортимента, м;

$l_i$  – длина  $i$ -го сортимента, м.

Из боковых частей двухкантного бруса получают заготовки переменного поперечного сечения.

Ширина заготовок из  $i$ -го сортимента в произвольном сечении: по наружной пласти

$$b_{31i} = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{d_{3,чi}^2 - 4(0,5H_i + a + 3p)^2} - \frac{a-p}{\operatorname{tg}\alpha_i} - B_i \right]; \quad (2)$$

по внутренней пласти

$$b_{32i} = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{d_{3,чi}^2 - 4(0,5H_i + a + 3p)^2} - \frac{a-p}{\operatorname{tg}\alpha_i} + B_i \right]; \quad (3)$$

где  $d_{3,чi}$  – диаметр здоровой части  $i$ -го сортимента в произвольном сечении, м;

$p$  – ширина пропила при продольном раскрое сортимента, м;

$\alpha_i$  – угол наклона пропилов при удалении загрязненной радионуклидами древесины из боковых частей двухкантного бруса, полученного из  $i$ -го сортимента.

Для определения объема полученных заготовок из  $i$ -го сортимента необходимо найти их ширину по наружной и внутренней пластям в поперечном сечении на середине длины. Для этого в формулы (2) и (3) необходимо вместо  $d_{3,чi}$  ввести диаметр здоровой части  $i$ -го сортимента в поперечном сечении на середине длины заготовок.

Объем заготовок из двухкантного бруса, полученного из  $i$ -го сортимента:

$$V_{3i} = l_i (b_{31i} + b_{32i}) (H_i - p).$$

Кроме четырехкантного бруса и заготовок из сортиментов, загрязненных радионуклидами, согласно представленной схеме раскроя (рис. 2), получают обрезные пиломатериалы. Их ширина определяется по наружной пласти. Это могут быть обрезные пиломатериалы как постоянного, так и переменного поперечного сечения. В последнем случае обрезка загрязненных частей осуществляется параллельно боковым кромкам. Ширина пиломатериалов в таком случае определяется в среднем поперечном сечении.

Общий объем пилопродукции из хлыстов, загрязненных радионуклидами:

$$V_{п/п} = \sum_{i=1}^n (V_{бр_i} + V_{п/м_i} + V_{3_i}),$$

где  $V_{п/п}$  – общий объем пилопродукции из хлыста, загрязненного радионуклидами, м<sup>3</sup>;

$n$  – количество сортиментов, полученных из хлыста;

$V_{бр_i}$  – объем четырехкантного бруса, полученного из  $i$ -го сортимента, м<sup>3</sup>;

$V_{п/м_i}$  – объем обрезных пиломатериалов из  $i$ -го сортимента, м<sup>3</sup>;

$V_{3_i}$  – объем заготовок из  $i$ -го сортимента, м<sup>3</sup>.

Таким образом, предлагаемое математическое описание позволяет аналитически определять геометрические параметры и выход получаемой пилопродукции, выбирать оптимальные схемы как раскряжевки, так и продольного раскряжения сортиментов на пилопродукцию. Критериями оптимизации в данном случае могут быть наибольший выход пилопродукции, производительность, наименьшие трудозатраты и т.д.

Для оценки способа раскряжения сырья, загрязненного радионуклидами, наряду с традиционным показателем (полезный выход), необходимо ввести качественный показатель, характеризующий загрязнение пилопродукции радионуклидами. На оценку того или иного способа раскряжения влияют два разнонаправленных процесса: с одной стороны, чем больше объем древесины удаляется с периферийной части сортимента, тем меньше объемный выход пилопродукции, с другой – снижается ее удельная активность. Для оценки эффективности раскряжения древесины, загрязненной радионуклидами, нами введен коэффициент эффективности поставки ( $K_\lambda$ , Бк/кг·м<sup>3</sup>), который характеризует использование сырья с допустимым содержанием радионуклидов:

$$K_\lambda = \frac{\sum_{j=1}^m \lambda_j q_j}{\lambda_0 \left( \sum_{j=1}^m q_j \right)^2} Q,$$

где  $m$  – количество сортиментов;

$j$  – номер сортимента;

$\lambda_j$  – удельная активность радионуклидов в  $j$ -м сортименте, Бк/кг;

$q_j$  – объем  $j$ -го сортимента, м<sup>3</sup>;

$Q$  – объем хлыста, м<sup>3</sup>;

$\lambda_0$  – удельная активность радионуклидов в хлысте, Бк/кг.

Очевидно, что чем меньше данный показатель, тем лучше используется объем сортимента с допустимым содержанием радионуклидов.

Таким образом, предлагаемое математическое описание позволяет обосновать технологию переработки древесины, загрязненной радионуклидами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика выполнения гамма-спектрометрических измерений активности радионуклидов в пробах почвы и растительных материалов. М.: Рослесхоз, 1994. 16 с.

2. Способ раскряжения круглых лесоматериалов, пораженных радионуклидами: Пат. 2350460 РФ, МПК В 27 В 1/00 / Торопов А.С., Торопов С.А., Меркелов В.М., Микрюкова Е.В., Шакирова А.И.; заявитель и патентообладатель МарГТУ. № 2007117657/03; заявл. 11.05.07; опубл. 27.03.09, Бюл. № 9.

3. Способ раскряжевки лесоматериалов, пораженных радионуклидами: Заявка 2006126505 РФ, МПК G 01 N 33/46 / Торопов А.С., Меркелов В.М., Тимофеева С.С., Кабышева Ю.А.; заявитель ГОУ ВПО МарГТУ. № 2006126505/03; заявл. 20.07.06; опубл. 27.01.08, Бюл. № 3; приоритет 20.07.06. 1 с.

*A.S. Toropov<sup>1</sup>, V.M. Merkelov<sup>2</sup>, V.F. Krasnova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Mari-El State Technical University

<sup>2</sup>Bryansk State Academy of Engineering and Technology

#### Mathematical Model for Determination of Three-dimensional Output of Sawn Products in Cutting of Tree-length Timber Polluted by Radionuclides

The mathematical description is offered for product output from tree-length timber polluted by radionuclides; based on the mathematical model the optimal schemes are determined both for cutting and longitudinal sawing of cut-to-length timber into sawn products.

Keywords: radioactive pollution, mathematical model, tree-length, cutting.