

УДК 630\*52

**В. П. Машковский**

Белорусский государственный технологический университет

**УСРЕДНЕННЫЕ РЯДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАМЕТРОВ СТВОЛОВ  
ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ СТУПЕНЯМ ТОЛЩИНЫ С УЧЕТОМ  
КАТЕГОРИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОДНОСТИ ДЕРЕВЬЕВ И МЕТОДИКА  
ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ТОВАРИЗАЦИИ РАСЧЕТНОЙ ЛЕСОСЕКИ**

В статье приводятся ряды распределения диаметров стволов по естественным ступеням толщины с учетом категорий технической годности деревьев. Данные ряды сформированы для шести основных древесных пород Беларуси: сосны, ели, дуба, березы, ольхи черной и осины. Применение таких рядов совместно с сортиментными таблицами позволяет выполнить товариризацию расчетной лесосеки без использования товарных таблиц. Методика расчетов детально описана в работе. Для выполнения этой работы необходимо для каждого элемента леса в древостое знать средний диаметр и высоту, абсолютную или относительную полноту, а также долю деловых стволов или класс товарности. Для случая, когда доля деловых стволов неизвестна, а есть только класс товарности, в статье приводятся средние проценты деловых стволов в зависимости от породы и класса товарности. Приведенная в работе методика настройки усредненных рядов распределения по естественным ступеням толщины на конкретный элемент леса обеспечивает сохранение всех соотношений, имеющих место между общим числом деревьев, количеством деловых и дровяных стволов по ступеням толщины и в целом для элемента леса.

**Ключевые слова:** лесопользование, главное пользование, расчетная лесосека, товариризация, естественные ступени толщины, сортиментные таблицы, товарные таблицы.

**V. P. Mashkovsky**

Belarusian State Technological University

**THE AVERAGE TRUNK DIAMETER DISTRIBUTION ROWS  
IN THE NATURAL DIAMETER CLASSES WITH CONSIDERING  
OF THE TREE QUALITY CATEGORIES AND METHODS OF THEIR USE  
FOR THE RATED CUTTING AREA COMMODIFICATION**

The article presents of the stem diameter distribution rows in the natural diameter classes with considering of the treesqualitycategories. These rows are formed of six main tree species in Belarus: pine, spruce, oak, birch, black alder and aspen. The use of such series together with the assortment tables allows you to commodification of the rated cutting without the use of timber quality tables. Method of calculation is described in detail. To perform this operation it is necessary for each element of forest in the stand to know the average diameter and height, absolute or relative density, and the proportion of merchantability trunks or class quality of wood. For the case where the proportion of the merchantability trunks don't known, but there is onlyclass quality of wood, the article presents the average percentage of merchantability trunks depending on the species and classquality of wood. Present method of fitting the series averaged distribution of the natural thickness steps of the concrete forest element preserves all the relationships that occur between the total number of trees, the number of merchantability and fuel trunks on the diameter class and for the whole elementof forest.

**Key words:** forest harvesting, principal harvesting, rated cutting area, volume of forest harvesting, commodification, natural diameter classes, assortment tables, timber quality tables.

**Введение.** Как известно, строение древостоев по диаметрам подчиняется определенным закономерностям, что издавна привлекает внимание многих ученых. В этом плане весьма полезными оказались ряды распределения деревьев по естественным ступеням толщины, предложенные А. В. Тюриным [1]. Применение таких рядов позволяет определять запас древостоя при глазомерно-измерительной таксации более точно, чем при использовании стандартных таблиц или таблиц видовых высот [2].

Однако при этом требуется выполнять довольно трудоемкие вычисления, что при современном уровне развития вычислительной техники не следует считать серьезным препятствием. Для характеристики лесных ресурсов одного запаса бывает недостаточно. Хорошо известно, что в ходе лесоустроительного проектирования главного пользования лесом наряду с расчетом размера лесопользования определяется также товарная структура древесины, которая будет заготовлена в результате проведения рубок

главного пользования лесом. Традиционно для этой цели используют товарные таблицы. Однако если иметь ряды распределения деловых и дровяных стволов по естественным ступеням толщины, то выход дровяной и деловой древесины по категориям крупности можно получить и по сортиментным таблицам [3]. Точность при такой методике получается не хуже, чем при использовании товарных таблиц. В данном варианте товаризации запаса на основе усредненных рядов распределения деловых и дровяных стволов по естественным ступеням толщины для каждого древостоя формировался индивидуальный перечень, соответствующий среднему диаметру древостоя. При определении количества деловых и дровяных стволов учитывалось общее число стволов в древостое и средняя доля деловых стволов для соответствующего класса товарности. Однако, как выяснилось, после такой трансформации рядов распределения деловых и дровяных стволов их сумма переставала соответствовать ряду распределения общего количества стволов по естественным ступеням толщины. Чтобы избежать таких ситуаций, необходимо разработать методику настройки усредненных рядов распределения деловых и дровяных стволов на конкретные древостои, обеспечивающую увязку суммы деловых и дровяных стволов с общим количеством деревьев по естественным ступеням толщины при любом классе товарности (доли деловых стволов). С учетом вышеизложенного целью данной работы является формирование усредненных рядов распределения деловых и дровяных стволов по естественным ступеням толщины для основных лесообразующих древесных пород, а также разработка такой методики настройки усредненных рядов на конкретный элемент леса, которая обеспечивает сохранение всех взаимосвязей между общим числом стволов и количеством деловых и дровяных деревьев по естественным ступеням толщины и в целом для всего ряда распределения.

**Основная часть.** Ряды распределения диаметров по естественным ступеням толщины были получены на основании данных таксации древостоев на пробных площадях. Пробные площадки закладывались в приспевающих, спелых и перестойных древостоях Республики Беларусь. Расчеты выполнялись для шести составляющих пород: сосны, ели, дуба, березы, ольхи черной и осины. Количество пересчетов, по которым формировались усредненные ряды распределения по естественным ступеням толщины приведено в табл. 1. В данной работе при формировании рядов распределения применялась методика, использовавшаяся ранее для создания рядов распределения диаметров по естественным

ступеням толщины [4]. Ряды распределения формировались как для общего количества стволов по естественным ступеням толщины, так и для числа деловых стволов. Ряды распределения числа дровяных стволов можно получить как разницу между рядом распределения общего количества стволов и рядом распределения числа деловых стволов. Распределение деревьев по естественным ступеням толщины в усредненном ряду выражалось в процентах к общему количеству стволов. По всем породам была вычислена средняя доля деловых стволов в пересчетах, которая приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Количество пересчетов, использованных при формировании усредненных рядов распределения по естественным ступеням толщины**

Порода	Число пересчетов, шт.	Доля деловых стволов в усредненных рядах, %
Сосна	538	95,2
Ель	210	96,2
Дуб	61	91,2
Береза	182	71,6
Ольха черная	88	84,4
Осина	63	70,1
<i>Итого</i>	1142	–

Кроме того, была определена средняя доля деловых стволов для каждого класса товарности основных лесообразующих пород (табл. 2). Эти значения необходимы для настройки усредненных рядов распределения на конкретные элементы леса в тех случаях, когда известен только класс товарности, а информация о доле деловых деревьев отсутствует.

Таблица 2

**Средняя доля деловых стволов, %**

Порода	Класс товарности		
	1	2	3
Сосна	98,5	80,6	43,5
Ель	98,4	80,1	38,2
Дуб	96,9	89,7	45,4
Береза	98,3	77,7	31,7
Ольха черная	98,7	86,3	41,4
Осина	99,4	90,5	29,6

Сформированные ряды распределения общего числа, и в том числе деловых стволов по естественным ступеням толщины, приведены в табл. 3. Все значения в данной таблице выражены в процентах от общего количества стволов всего ряда.

Для выполнения товаризации расчетной лесосеки с использованием усредненных рядов

распределения по естественным ступеням толщины и сортиментных таблиц можно предложить следующую методику.

На первом этапе необходимо настроить усредненные ряды распределения по естественным ступеням толщины на конкретный элемент леса. Для этого нужно знать долю деловых деревьев для каждого элемента леса. Если такая информация отсутствует, а известен только класс товарности, то можно воспользоваться средними значениями, приведенными в табл. 2, в зависимости от породы и класса товарности. В том случае если доля деловых стволов для элемента леса будет меньше, чем доля деловых стволов в усредненном ряду распределения (табл. 1), абсолютные значения частот по естественным ступеням толщины следует вычислить следующим образом:

$$p_i^{\text{дел}} = \frac{\bar{p}_i^{\text{дел}}}{\bar{N}_{\text{дел}}} \cdot N_{\text{дел}};$$

$$p_i^{\text{др}} = \bar{p}_i - p_i^{\text{дел}};$$

$$g_{\text{ср}} = \frac{\pi d_{\text{ср}}^2}{40\,000};$$

$$G = \Pi G_{\text{н}};$$

$$N = \frac{G}{g_{\text{ср}}};$$

$$n_i^{\text{дел}} = p_i^{\text{дел}} \frac{N}{100};$$

$$n_i^{\text{др}} = p_i^{\text{др}} \frac{N}{100},$$

где  $p_i^{\text{дел}}$  – число деловых стволов в  $i$ -й естественной ступени толщины элемента леса, %;  $\bar{p}_i^{\text{дел}}$  – процент деловых стволов в  $i$ -й естественной ступени толщины усредненного ряда распределения (табл. 3), %;  $\bar{N}_{\text{дел}}$  – доля деловых стволов в усредненном ряду (табл. 1), %;  $N_{\text{дел}}$  – доля деловых стволов элемента леса (если она неизвестна, берется в зависимости от класса товарности из табл. 2), %;  $p_i^{\text{др}}$  – число дровяных стволов в  $i$ -й естественной ступени толщины элемента леса, %;  $\bar{p}_i$  – процент общего числа стволов в  $i$ -й естественной ступени толщины усредненного ряда распределения (табл. 3), %;  $g_{\text{ср}}$  – площадь сечения среднего дерева элемента леса,  $\text{м}^2$ ;  $d_{\text{ср}}$  – диаметр среднего дерева элемента леса, см;  $G$  – сумма площадей сечений элемента леса,  $\text{м}^2/\text{га}$ ;  $\Pi$  – относительная полнота;  $G_{\text{н}}$  – сумма площадей сечений нормального древостоя,  $\text{м}^2/\text{га}$ ;  $N$  – число стволов элемента леса, шт./га;  $n_i^{\text{дел}}$  – число деловых стволов в  $i$ -й естественной ступени толщины элемента леса, шт./га;  $n_i^{\text{др}}$  – число дровяных стволов в  $i$ -й естественной ступени толщины элемента леса, шт./га.

Таблица 3

## Ряды распределения общего числа стволов и числа деловых стволов по естественным ступеням толщины

Границы естественных ступеней толщины	Частота, %											
	Сосна		Ель		Дуб		Береза		Ольха черная		Осина	
	всего	деловых	всего	деловых	всего	деловых	всего	деловых	всего	деловых	всего	деловых
0,15 $d_{\text{ср}}$	–	–	–	–	0,2	0,2	–	–	–	–	–	–
0,25 $d_{\text{ср}}$	0,2	0,1	0,6	0,4	1,8	0,7	0,8	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1
0,35 $d_{\text{ср}}$	1,0	0,7	2,2	1,7	3,5	2,2	2,8	0,8	1,3	0,7	1,8	0,7
0,45 $d_{\text{ср}}$	3,3	2,7	5,3	4,4	6,9	5,1	5,2	2	3,6	1,8	3,5	2,0
0,55 $d_{\text{ср}}$	6,3	5,5	8,7	8,0	8,1	6,9	7,8	3,9	6,7	4,1	6,9	4,3
0,65 $d_{\text{ср}}$	9,5	8,8	10,4	10,0	8,7	7,9	9,9	5,7	9,1	6,5	9,9	6,2
0,75 $d_{\text{ср}}$	12,4	11,9	11,5	11,2	10,2	9,5	12,1	8,1	12,2	9,9	11,9	8,3
0,85 $d_{\text{ср}}$	15,1	14,6	12,6	12,4	12,0	11,4	13,4	10,6	14,9	12,9	14,6	10,6
0,95 $d_{\text{ср}}$	15,7	15,3	13,1	12,8	12,2	11,8	12,7	10,3	14,9	13,8	13,9	10,3
1,05 $d_{\text{ср}}$	13,5	13,2	11,4	11,3	10,9	10,7	10,8	8,9	13,4	12,4	12,9	9,8
1,15 $d_{\text{ср}}$	10,1	9,9	8,6	8,5	8,2	7,9	8,5	7,2	10,7	10,0	10,2	7,5
1,25 $d_{\text{ср}}$	6,4	6,2	6,0	6,0	5,8	5,6	6,2	5,4	6,5	6,1	6,9	5,0
1,35 $d_{\text{ср}}$	3,4	3,4	4,1	4,0	4,9	4,9	4	3,5	3,2	3,1	3,8	2,6
1,45 $d_{\text{ср}}$	1,7	1,6	2,5	2,5	3,0	2,9	2,5	2,1	1,6	1,5	1,8	1,4
1,55 $d_{\text{ср}}$	0,8	0,8	1,5	1,5	1,8	1,8	1,6	1,4	0,8	0,7	1,0	0,8
1,65 $d_{\text{ср}}$	0,3	0,3	0,7	0,7	0,9	0,9	0,8	0,7	0,4	0,4	0,4	0,3
1,75 $d_{\text{ср}}$	0,2	0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
1,85 $d_{\text{ср}}$	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	–	–
1,95 $d_{\text{ср}}$	–	–	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	–	–
2,05 $d_{\text{ср}}$	–	–	0,1	0,1	–	–	0,1	0,1	–	–	–	–
2,15 $d_{\text{ср}}$	–	–	–	–	–	–	0,1	–	–	–	–	–

В том случае если доля деловых стволов для элемента леса оказалась больше, чем доля деловых стволов в усредненном ряду распределения (табл. 1), относительные частоты необходимо вычислять по следующим формулам:

$$p_i^{\text{др}} = \frac{\bar{p}_i - \bar{p}_i^{\text{дел}}}{100 - \bar{N}_{\text{дел}}} \cdot (100 - N_{\text{дел}});$$

$$p_i^{\text{дел}} = \bar{p}_i - p_i^{\text{др}}.$$

Дальнейшие вычисления абсолютных значений частот по естественным ступеням толщины следует выполнять так же, как и в предыдущем варианте, – по формулам (1)–(5).

Нетрудно заметить, что при такой методике расчета после настройки усредненных рядов распределения на конкретный элемент леса все соотношения между общим числом деревьев, количеством деловых и дровяных стволов по ступеням толщины и в целом для элемента леса сохраняются.

Абсолютные значения естественных ступеней толщины для каждого перечета можно вычислить по формуле

$$d_i = e_i d_{\text{ср}},$$

где  $d_i$  – абсолютное значение  $i$ -й естественной ступени толщины, см;  $e_i$  – величина  $i$ -й естественной ступени толщины.

После того как перечень для конкретного элемента леса сформирован, определяется общий запас древесины, запас дров, а также запас крупной, средней и мелкой деловой древесины. Для этого используется следующая методика расчетов.

С использованием данных, приведенных в сортиментных таблицах, для каждой естественной ступени толщины определялся общий объем, объем дров, объемы крупной, средней и мелкой деловой древесины для одного ствола путем интерполяции с помощью следующих формул:

$$v_i^k = v_1^k + \frac{(v_2^k - v_1^k) \cdot (d_i^2 - d_1^2)}{(d_2^2 - d_1^2)}; \quad (6)$$

$$v_i^k = v_{\text{мин}}^k \frac{d_i^2}{d_{\text{мин}}^2}; \quad (7)$$

$$v_i^k = v_{\text{макс}}^k \frac{d_i^2}{d_{\text{макс}}^2}, \quad (8)$$

где  $v_i^k$  – объем древесины  $k$ -й категории для одного ствола в  $i$ -й естественной ступени толщины, м<sup>3</sup>;  $v_1^k$  и  $v_2^k$  – объемы древесины  $k$ -й категории для одного ствола, взятые из сортиментных таблиц для диаметров  $d_1$  и  $d_2$ , м<sup>3</sup>;  $d_1$  – максимальный диаметр из сортиментных таблиц,

который не превышает  $d_i$ , см;  $d_2$  – минимальный диаметр из сортиментных таблиц, который больше, чем  $d_i$ , см;  $v_{\text{мин}}^k$  – объем древесины  $k$ -й категории для одного ствола, взятый из сортиментных таблиц для диаметра  $d_{\text{мин}}$ , м<sup>3</sup>;  $d_{\text{мин}}$  – минимальный диаметр, который есть в сортиментных таблицах, см;  $v_{\text{макс}}^k$  – объем древесины  $k$ -й категории для одного ствола, взятый из сортиментных таблиц для диаметра  $d_{\text{макс}}$ , м<sup>3</sup>;  $d_{\text{макс}}$  – максимальный диаметр, который есть в сортиментных таблицах, см.

Формула (7) используется для естественных ступеней толщины, абсолютная величина которых ( $d_i$ ) меньше, чем минимальный диаметр ( $d_{\text{мин}}$ ), имеющийся в сортиментных таблицах. Для естественных ступеней толщины, абсолютная величина которых ( $d_i$ ) превышает максимальный диаметр ( $d_{\text{макс}}$ ), имеющийся в сортиментных таблицах, применяется формула (8). Для остальных естественных ступеней толщины вычисления выполняются с помощью формулы (6).

Разряд высот, необходимый для пользования сортиментными таблицами, можно определить по соотношению среднего диаметра и средней высоты элемента леса.

После того как объем древесины различных категорий для одного ствола будет определен для всех естественных ступеней толщины, следует вычислить общий запас на гектаре древесины соответствующих категорий для всего древостоя в целом:

$$M_{\text{кр}} = \sum_{i=1}^m v_i^{\text{кр}} \cdot n_i^{\text{дел}}; \quad (9)$$

$$M_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^m v_i^{\text{ср}} \cdot n_i^{\text{дел}}; \quad (10)$$

$$M_{\text{мел}} = \sum_{i=1}^m v_i^{\text{мел}} \cdot n_i^{\text{дел}}; \quad (11)$$

$$M_{\text{др.дел}} = \sum_{i=1}^m v_i^{\text{др.дел}} \cdot n_i^{\text{дел}}; \quad (12)$$

$$M_{\text{др.др}} = \sum_{i=1}^m v_i^{\text{др.др}} \cdot n_i^{\text{др}}; \quad (13)$$

$$M_{\text{др}} = M_{\text{др.дел}} + M_{\text{др.др}}; \quad (14)$$

где  $M_{\text{кр}}$  – запас крупной деловой древесины в древостое, м<sup>3</sup>;  $m$  – число естественных ступеней толщины;  $V_i^{\text{кр}}$  – объем крупной деловой древесины для одного ствола в  $i$ -й естественной ступени толщины, м<sup>3</sup>;  $M_{\text{ср}}$  – запас средней деловой древесины в древостое, м<sup>3</sup>;  $V_i^{\text{ср}}$  – объем средней деловой древесины для одного ствола в  $i$ -й естественной ступени толщины, м<sup>3</sup>;  $M_{\text{мел}}$  – запас

мелкой деловой древесины в древостое,  $m^3$ ;  $V_i^{мел}$  – объем мелкой деловой древесины для одного ствола в  $i$ -й естественной ступени толщины,  $m^3$ ;  $M_{др.дел}$  – запас дров из деловых стволов,  $m^3$ ;  $V_i^{др.дел}$  – объем дровяной древесины для одного делового ствола в  $i$ -й естественной ступени толщины,  $m^3$ ;  $M_{др.др}$  – запас дров из дровяных стволов,  $m^3$ ;  $V_i^{др.др}$  – объем дровяной древесины для одного дровяного ствола в  $i$ -й естественной ступени толщины,  $m^3$ ;  $M_{др}$  – запас дров в древостое,  $m^3$ .

**Заключение.** Товаризация расчетной лесосеки выполняется с использованием товарных таблиц. Однако проведенные исследования показывают, что эту же работу можно выполнить с использованием сортиментных таблиц

и предлагаемых усредненных рядов распределения диаметров стволов по естественным ступеням толщины. Это позволит отказаться от составления товарных таблиц, что явно выгодно в плане экономии затрат на их разработку. Предлагаемая методика может быть использована не только для товаризации расчетной лесосеки, но и при материально-денежной оценке лесосек в случае таксации их путем закладки реласкопических площадок. Кроме того, объединение данного алгоритма товаризации запаса древостоев с новыми технологиями измерительного дешифрирования материалов дистанционного зондирования лесов [5] позволит значительно расширить перечень получаемой при этом информации.

### Литература

1. Тюрин А. В. Таксация леса. 2-е изд. М.: Гослестехиздат, 1945. 376 с.
2. Машковский В. П. Точность вычисления запаса разными методами при глазомерно-измерительной таксации леса // Труды БГТУ. 2014. № 1: Лесное хоз-во. С. 26–30.
3. Машковский В. П. Товаризация расчетной лесосеки по сортиментным таблицам с использованием рядов распределения деревьев по естественным ступеням толщины // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель, 2015. Вып. 75. С. 340–348.
4. Машковский В. П. Возрастные особенности варьирования диаметров стволов в чистых сосновых древостоях // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 31–35.
5. Бахур О. С., Толкач И. В. Система обработки данных измерительного дешифрирования чистых сосновых древостоев Ia–II классов бонитета // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 8–11.

### References

1. Tyurin A. V. *Taksatsiya lesa* [Forest mensuration]. Moscow, Goslестekhizdat Publ., 1945. 376 p.
2. Mashkovsky V. P. The accuracy of different methods of stand volume calculation in eye-measuring forest inventory. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1: Forestry, pp. 26–30 (In Russian).
3. Mashkovsky V. P. Commoditization of the rated cutting by assortment tables with tree row distribution according to natural diameter classes. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Problems of Forest and Forestry: collection of scientific works of Institute of Wood of NAS of Belarus]. 2015, issue 75, pp. 340–348 (In Russian).
4. Mashkovsky V. P. The age features of variability of trunk diameters in pure pine stands. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1: Forestry, pp. 31–35 (In Russian).
5. Bakhur O. S., Tolkach I. V. The data processing system of measuring interpretation of pure pine stands of Ia–II yield classes. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 8–11 (In Russian).

### Информация об авторе

**Машковский Владимир Петрович** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: mashkovsky@tut.by

### Information about the author

Mashkovsky Vladimir Petrovich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: mashkovsky@tut.by

Поступила 22.02.2016