

УДК 630*52

В. П. Машковский, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (БГТУ)**ТОЧНОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗАПАСА РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ
ПРИ ГЛАЗОМЕРНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТАКСАЦИИ ЛЕСА**

В статье приведены результаты анализа точности вычисления запаса разными методами при глазомерно-измерительной таксации леса. Показано, что используемые на практике в настоящее время методы имеют значительную систематическую ошибку, приводящую к занижению запаса древостоев. Моделирование распределения стволов по диаметру на основании среднего диаметра древостоя и рядов распределения по естественным ступеням толщины позволяет значительно повысить точность вычисления запаса древостоя и уменьшить систематическую ошибку. Более точные методы вычисления запаса являются и более трудоемкими в плане выполнения расчетов. Однако повсеместное внедрение в практику лесного хозяйства вычислительной техники делает этот недостаток несущественным. Таким образом, за счет увеличения трудоемкости вычисления запаса можно значительно повысить точность его определения.

The article contains the results of the analysis of the accuracy of different methods of stand volume calculation in eye-measuring forest inventory. It is shown that in practice the methods currently have significant systematic error that led to an underestimation of the stands volume. Modeling of the distribution of stem diameter on the basis of the average diameter of the stand and series of the distribution of natural diameter classes allows to significantly increase the accuracy of calculation of stand volume and reduce the systematic error. More accurate methods of calculation of stand volume and are more labor-intensive in terms of calculations. However, the widespread introduction in practice of forestry computing machinery makes this lack insignificant. Thus, due to the increasing workload calculation of stand volume can significantly improve the accuracy of its definition.

Введение. Измерительная таксация широко используется в лесоустройстве при инвентаризации спелых и приспевающих древостоев. Кроме того, этот метод применяется при таксации больших по площади лесосек и инвентаризации лесного фонда выборочными методами. При использовании этого метода путем проведения измерений определяются основные таксационные показатели древостоя, такие, например, как состав, высота, диаметр и абсолютная полнота, а запас вычисляется с применением различных нормативных материалов. При производственной таксации для вычисления запаса используется стандартная таблица. На ее основе разработаны две специальные таблицы, по одной из которых таксатор сначала определяет относительную полноту в зависимости от породы, средней высоты и суммы площадей сечений, а затем по другой таблице определяет запас в зависимости от породы, высоты и относительной полноты. Эта методика позволяет без вычислений получить тот же результат, что и при выполнении расчетов по известной формуле:

$$M_T = M_H \Pi, \quad (1)$$

где M_T – запас таксируемого древостоя, м³/га; M_H – запас нормального древостоя, м³/га, который берется из стандартной таблицы в зависимости от породы и средней высоты древостоя; Π – относительная полнота.

Однако запас древостоя можно вычислить не только с помощью стандартных таблиц. При

таксации лесосек путем закладки реласкопических круговых площадок запас предлагается вычислять на основе измеренных суммы площадей сечений и высоты древостоя с использованием таблицы видовых высот [1] по следующей формуле:

$$M_T = G_T HF, \quad (2)$$

где G_T – сумма площадей сечений таксируемого древостоя, м²/га; HF – видовая высота, м.

Выбор способа определения запаса, используемый лесоустроителями при глазомерно-измерительной таксации леса, обусловлен, по видимому, простотой и скоростью определения запаса, а также возможностью избежать выполнения каких бы то ни было вычислений в лесу. Многие исполнители основную, наиболее часто используемую часть стандартной таблицы запоминают наизусть, и в большинстве случаев в состоянии определить запас, вообще не заглядывая в таблицу. Однако повсеместное внедрение вычислительной техники позволяет изменить подход к выбору способа вычисления запаса. В настоящий момент и лесоустроительная информация, и материалы таксации лесосек обрабатываются с помощью вычислительной техники. Следовательно, трудоемкость выполнения вычислений отходит на второй план. В связи с этим при выборе способа вычисления запаса целесообразно использовать другие критерии, например, точность его вычисления, что является более весомой характеристикой метода. Данная работа посвящена сравнительной оценке точно-

сти вычисления запасов различными методами при глазомерно-измерительной таксации леса.

Объекты и методика исследований. Для выполнения анализа точности определения запаса использовались данные таксации древостоев на пробных площадях. Расчеты выполнялись для сосны. Причем выбирались элементы леса, густота которых составляет не менее 20 стволов на гектаре, а средняя высота, определенная по графику, оказалась не менее 4,5 м. Исследуемые элементы леса представляли с первого по шестой классы возраста (табл. 1).

Таблица 1
**Распределение элементов леса (сосна)
по классам возраста**

Класс возраста	Число пробных площадей, шт.
1-й	48
2-й	61
3-й	209
4-й	293
5-й	235
6-й	27
7-й и т. д.	6
<i>Итого</i>	879

Перечеты деревьев для выбранных элементов леса были обработаны по стандартной методике с определением запаса на гектаре с помощью разрядных таблиц. Запасы, полученные таким образом, использовались в качестве контроля. В дополнение на основании вычисленных при обработке перечетов таксационных показателей запас определялся рядом описанных ниже способов.

По стандартным таблицам. При этом способе определения запаса использовалась средняя высота и сумма площадей сечений на гектаре, вычисленные по данным перечетов деревьев. Расчеты выполнялись в два этапа. Сначала определялась относительная полнота по известной формуле:

$$П = \frac{G_T}{G_H}, \quad (3)$$

где G_T – сумма площадей сечений таксируемого древостоя, $m^2/га$; G_H – сумма площадей сечений нормального древостоя, $m^3/га$, которая бралась из стандартной таблицы в зависимости от породы (сосна) и средней высоты древостоя.

Далее с использованием определенной таким образом относительной полноты вычислялся запас по формуле (1).

По таблицам видовых высот. В зависимости от породы и средней высоты, полученной при обработке перечета, определялась видовая высота по таблицам видовых высот [1]. Затем с

использованием полученной по данным перечета деревьев суммы площадей сечений вычислялся запас древостоя по формуле (2).

По среднему дереву. По таблицам, которые применялись для определения запаса древостоя при обработке перечетов, вычислялся объем дерева, имеющего диаметр и высоту, равные средним диаметру и высоте древостоя. Далее определяли запас на гектаре по формуле

$$M_T = V_{cp} \frac{G_T}{G_{cp}}, \quad (4)$$

где V_{cp} – объем среднего дерева таксируемого древостоя, m^3 ; G_{cp} – площадь сечения среднего дерева, m^2 , вычисляемая по формуле

$$G_{cp} = \frac{\pi D_{cp}^2}{40\,000}, \quad (5)$$

где D_{cp} – средний диаметр древостоя, см.

Несмотря на то, что при обработке перечетов для каждого элемента леса вычислялось число стволов на гектаре, в формуле (4) вместо этой величины используется отношение G_T / G_{cp} . В дальнейшем вместо числа стволов на гектаре будет использоваться данное выражение. Это вызвано тем, что при проведении измерительной таксации число стволов на гектаре обычно не определяется, а средний диаметр и сумма площадей сечений таксируются всегда.

С помощью ряда распределения деревьев по естественным ступеням толщины (по А. В. Тюрину, $D \leq 25$ см). На основании среднего распределения диаметров деревьев по естественным ступеням толщины для насаждений со средним диаметром до 25 см [2] для каждого элемента леса формировался перечень деревьев по естественным ступеням толщины (в пересчете на 1 га). Число деревьев для каждой естественной ступени толщины вычислялось следующим образом:

$$N_i = \frac{P_i G_T}{100 G_{cp}}, \quad (6)$$

а абсолютное значение естественной ступени толщины определялось по формуле

$$D_i = E_i D_{cp}, \quad (7)$$

где N_i – число стволов в i -й естественной ступени толщины, шт.; D_i – абсолютное значение i -й естественной ступени толщины, см; E_i – величина i -й естественной ступени толщины.

Далее по тем же таблицам, которые использовались для обработки перечетов деревьев, определялись объемы стволов, соответствующие естественным ступеням толщины, а затем вычислялся запас древостоя на гектаре следующим образом:

$$M_T = \sum_{i=1}^k V_i \cdot N_i, \quad (8)$$

где V_i – объем одного ствола в i -й естественной ступени толщины, m^3 ; k – число естественных ступеней толщины.

С помощью ряда распределения деревьев по естественным ступеням толщины (по А. В. Тюрину, $D > 25$ см). При использовании этого метода запас древостоя на гектаре вычислялся, как и в предыдущем случае, с использованием формул (6)–(8), только на основании среднего распределения диаметров деревьев по естественным ступеням толщины для насаждений со средним диаметром более 25 см [2].

С помощью ряда распределения деревьев по естественным ступеням толщины (по А. В. Тюрину, все насаждения вместе). Как и в предыдущих случаях, при этом методе запас древостоя на гектаре определялся по формулам (6)–(8), на основании данных среднего распределения диаметров деревьев по естественным ступеням толщины для всех насаждений вместе, полученных А. В. Тюриным [2].

С помощью ряда распределения деревьев по естественным ступеням толщины (по В. Ф. Багинскому). В данном случае при определении запаса древостоя использовался ряд распределения диаметров деревьев по относительным ступеням толщины, полученный при разработке товарных таблиц под руководством В. Ф. Багинского [3]. Вычисление запаса древостоя выполнялось, как и в трех предыдущих методах, с использованием формул (6)–(8).

С помощью двух рядов распределения деревьев по естественным ступеням толщины для 1–2-го и 3–6-го классов возраста. При этом методе определения запаса древостоя на гектаре сначала в зависимости от возраста таксируемого элемента леса выбирался один из двух рядов распределения диаметров деревьев по естественным ступеням толщины, один из которых был получен для сосновых древостоев 1–2-го, а другой – 3–6-го классов возраста [4]. Далее для выбранного ряда распределения диаметров деревьев определялись абсолютные значения естественных ступеней толщины по формуле (7) и их частоты по формуле (6). Затем для каждой ступени толщины по объемным таблицам определялся объем одного дерева и по формуле (8) – запас на гектаре.

С помощью ряда распределения деревьев по естественным ступеням толщины для сосновых древостоев. Для реализации данного метода был построен ряд распределения числа стволов в процентах по естественным ступеням толщины для древостоев сосны. Этот ряд строился по той же методике и по тем же данным,

что и ряды распределения деревьев по естественным ступеням толщины для древостоев сосны 1–2-го и 3–6-го классов возраста [4]. Полученный ряд распределения сглаживался бета-функцией. Нулевая гипотеза, заключающаяся в том, что эмпирическое распределение подчиняется закону бета-распределения, проверялась с помощью критерия Пирсона χ^2 . Результаты расчетов позволили принять нулевую гипотезу. Таким образом, ряд распределения диаметров деревьев хорошо описывается этой функцией. Полученные эмпирические и теоретические частоты (в процентах) ряда распределения диаметров по естественным ступеням толщины в сосновых древостоях приведены в табл. 2.

Таблица 2

Ряды распределения диаметров стволов по естественным ступеням толщины (сосна)

Ступень толщины	Частоты, %	
	экспериментальные	теоретические
0,2	0,1	0,1
0,3	0,4	0,5
0,4	1,4	1,4
0,5	3,7	3,4
0,6	6,7	6,5
0,7	9,7	10,0
0,8	12,4	13,1
0,9	14,6	14,7
1,0	14,9	14,3
1,1	12,8	12,3
1,2	9,6	9,3
1,3	6,3	6,4
1,4	3,6	3,9
1,5	1,9	2,2
1,6	1,0	1,1
1,7	0,5	0,5
1,8	0,2	0,2
1,9	0,1	0,1
2,0	0,1	0,0

Полученный таким образом ряд распределения использовался в описываемом методе при определении запаса древостоя. С помощью формулы (6) относительные частоты сглаженного бета-функцией ряда распределения (табл. 2) переводились в абсолютные значения, а по формуле (7) вычислялись абсолютные значения естественных ступеней толщины для каждого перечета. После определения объемов одного ствола для каждой ступени запас вычислялся с помощью формулы (8).

Для каждого из 879 анализируемых элементов леса запас определялся всеми девятью описанными выше способами и сравнивался с запасом, полученным при обработке перечета по стандартной методике (контроль). При этом

вычислялись отклонения запасов, полученных всеми девятью методами, от запаса, полученного в результате обработки данных перечислительной таксации. Дальнейшая обработка материалов сводилась к следующему. Для каждого анализируемого метода вычисления запаса определялись максимальные значения отклонений в большую и меньшую сторону. Также рассчитывались среднее арифметическое значение отклонений (систематическая ошибка) и среднее квадратическое значение отклонений (стандартная ошибка). Полученные таким образом величины в метрах кубических, а также выраженные в процентах к среднему арифметическому значению запаса на гектаре для всех анализируемых перечетов приведены в табл. 3. Кроме абсолютных отклонений, вычислялись отклонения, выраженные в процентах к запасу, полученному при обработке данных перечислительной таксации, который принимался за истинное значение. Максимальные значения для относительных отклонений в большую и меньшую стороны приведены в табл. 4.

Результаты и их обсуждение. Как показывают результаты расчетов, приведенные в табл. 3, используемый в лесоустройстве метод определения запаса по стандартным таблицам приводит к занижению получаемых значений. Он дает довольно значительную отрицательную систематическую ошибку, составляющую около четырех с половиной кубометров, что составляет $-1,9\%$ от среднего значения запасов на гектаре для всех анализируемых перечетов.

Максимальные отклонения, имеющие место при данном методе вычисления запаса, достигают 51 м^3 в сторону занижения запаса и 35 м^3 – в сторону завышения.

Интересно было бы сравнить полученные отклонения с допустимыми случайными ошибками определения запаса древостоя, которые регламентируются правилами проведения лесоустройства [5]. В этом документе значения ошибок приводятся в относительных величинах (в процентах). При таксации спелых и перестойных насаждений, включенных в расчет рубок главного пользования, и участков, назначенных для проведения проходных рубок, а также рубок обновления и перестройки, установленная величина допустимой ошибки составляет 15% . При таксации всех остальных насаждений допустимыми считаются ошибки, не превышающие 20% от запаса древостоя.

В табл. 4 приведены максимальные значения отклонений в большую и меньшую стороны, которые выражены в процентах от запаса древостоя, определенного по данным перечета деревьев.

Что касается отклонений в сторону завышения запаса, то их максимальная величина укладывается в рамки допустимых ошибок, тогда как отклонения в меньшую сторону (до 28%) могут приводить к тому, что запас будет определен с недопустимой согласно лесоустроительной инструкции точностью, причем это будет обусловлено не качеством работы таксатора, а используемой методикой вычислений.

Таблица 3

Анализ отклонений запасов на гектаре, вычисленных разными способами, от запаса, полученного при обработке перечета деревьев

Способ вычисления запаса	Отклонения							
	абсолютные, м^3				относительные, %			
	максимальные		средние		максимальные		средние	
	в меньшую сторону	в большую сторону	арифметическое	квадратическое	в меньшую сторону	в большую сторону	арифметическое	квадратическое
По стандартным таблицам	-51,3	35,2	-4,6	12,1	-21,3	14,6	-1,9	5,0
По таблицам видовых высот	-46,9	22,2	-3,7	10,8	-19,5	9,2	-1,5	4,5
По среднему дереву	-29,9	3,1	-3,7	5,6	-12,4	1,3	-1,5	2,3
По естественным ступеням:								
– по М. В. Тюрину:								
$D \leq 25 \text{ см}$	-17,5	9,1	2,2	3,5	-7,3	3,8	0,9	1,5
$D > 25 \text{ см}$	-22,2	5,3	0,1	2,9	-9,2	2,2	0,0	1,2
все насаждения вместе	-22,6	2,8	-1,1	2,8	-9,4	1,2	-0,5	1,2
– по В. Ф. Багинскому	-14,7	13,9	4,6	5,6	-6,1	5,8	1,9	2,3
– по двум рядам распределения для 1–2-го и 3–6-го классов возраста	-13,7	9,5	-0,4	2,0	-5,7	4,0	-0,2	0,8
– по одному ряду распределения для всех классов возраста	-19,1	5,6	-0,2	2,2	-7,9	2,3	-0,1	0,9

Таблица 4
Максимальные относительные отклонения по запасу

Способ вычисления запаса	Максимальные относительные отклонения, %	
	в меньшую сторону	в большую сторону
По стандартным таблицам	-28,1	11,2
По таблицам видовых высот	-27,4	5,4
По среднему дереву	-16,5	0,7
По естественным ступеням:		
– по М. В. Тюрину:		
$D \leq 25$ см)	-11,0	3,9
$D > 25$ см)	-12,9	1,9
все насаждения вместе	-13,0	1,6
– по В. Ф. Багинскому	-10,3	5,4
– по двум рядам распределения для 1–2-го и 3–6-го классов возраста	-12,2	5,4
– по одному ряду распределения для всех классов возраста	-12,0	3,2

Анализ отклонений, которые имеют место при вычислении запаса по формуле (2) с использованием таблицы видовых высот [1], показывает, что данный метод обеспечивает несколько большую точность, чем метод определения запаса с помощью стандартной таблицы (табл. 3). Еще более высокую точность показывает метод вычисления запаса древостоя с использованием объема среднего дерева, однако его систематическая ошибка остается все еще большой.

Следующие методы определения запаса предполагают моделирование распределения деревьев по диаметрам с использованием естественных ступеней толщины и средних частот по ступеням толщины, полученных для различных совокупностей насаждений различными авторами. Движение в этом направлении приводит к существенному усложнению процесса выполнения расчетов. Однако, как показывают результаты анализа, такая методика для большинства опробованных рядов распределения числа стволов по диаметру в процентах по естественным ступеням толщины приводит к существенному повышению точности вычисления запаса. Три из анализируемых вариантов, предполагающих использование ряда М. В. Тюрина для древостоев диаметром более 25 см [2], ряда для сосновых древостоев Беларуси, полученного в данной работе (табл. 2), а также двух рядов, полученных ранее для сосняков 1–2-го и

3–6-го классов возраста [4], характеризуются систематической ошибкой, не превышающей одного кубометра древесины на гектаре. Это составляет менее 0,2% от среднего запаса по всем анализируемым элементам леса.

Наиболее точным из рассматриваемых вариантов вычисления запаса древостоя на гектаре следует признать метод расчета, основанный на использовании двух рядов распределения деревьев по естественным ступеням толщины для сосняков 1–2-го и 3–6-го классов возраста, так как он характеризуется наименьшим среднеквадратическим значением отклонений. Его систематическая ошибка также невелика – 0,4 м³, или 0,2% от среднего запаса для всей анализируемой совокупности элементов леса.

Заключение. Используемые в настоящий момент практикой лесного хозяйства методы вычисления запаса при измерительной таксации леса имеют довольно большую систематическую ошибку, занижающую запасы. При глазомерно-измерительной таксации леса она составляет в среднем –4,6 м³ (–1,9%), а при таксации лесосек выборочными методами –3,7 м³ (–1,5%). Это приводит к занижению запаса древостоев. Уменьшить ошибку определения запасов при измерительной таксации леса можно путем использования более трудоемких с вычислительной точки зрения, но более точных методов.

Литература

1. Правила отвода и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь = Правілы адмежавання і таксацыі лесасек у лясах Рэспублікі Беларусь: ТКП 060-2006 (02080): с изм. № 1–3 2009–2010 гг. Введ. 29.12.2006. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2010. 58 с.
2. Тюрин А. В. Таксация леса. 2-е изд. М.: Гослестехиздат, 1945. 376 с.
3. Багинский В. Ф., Костенко А. Г. Определение товарной структуры древостоев Белоруссии при лесоустройстве: метод. рекомендации с прил. товарн. табл.; Гослесхоз СССР, БелНИИЛХ, БЛУП. Гомель, 1978. 34 с.
4. Машковский В. П. Возрастные особенности варьирования диаметров стволов в чистых сосновых древостоях / В. П. Машковский // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 31–35.
5. Правила проведения лесоустройства лесного фонда = Правілы правядзення лесаўпарадкавання ляснога фонду: ТКП 377-2012 (02080). Введ. 11.04.2012. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2012. 101 с.

Поступила 24.02.2014