

пнево-корневой древесины составляют в среднем 10,1 % запасов стволовой древесины. Следовательно, на еловых вырубках дополнительно к стволовой можно заготовить 25—35 м³/га пнево-корневой древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марковский Г.А. Шумите, пущи и дубравы // Политинформатор и агитатор. 1986. № 17. С.16—17. 2. Застенский Л.С., Гвоздев В.К. Запасы пнево-корневой древесины сосновых вырубок в БССР // Лесоведение и лесн. хоз-во. 1990. Вып.25. 3. Санников Ю.Г. Таксация смолистой древесины сосны и влияние осмолозаготовок на рост молодых: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Л., 1986. 4. Атрощенко О.А. Применение ЭВМ в научных исследованиях и дипломном проектировании по лесному хозяйству. Мн., 1985. 5. Атрощенко О.А. Регрессионные модели связи диаметров и высот деревьев в березовых древостоях // Лесоведение и лесн. хоз-во. 1982. Вып.17.

УДК 630*566:681.31

О.А.АТРОЩЕНКО (БТИ)

МАТЕРИАЛЬНО-ДЕНЕЖНАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ДРЕВОСТОЕВ ПО МОДЕЛИ НА ЭВМ

Алгоритмы, применяемые для материально-денежной оценки запасов древостоев на ЭВМ, в основном дублируют последовательность ручного счета: 1) сплошной, ленточный или выборочный пересчет деревьев; 2) определение распределений числа деревьев по ступеням толщины и качественным категориям; 3) сортиментация по сортиментным таблицам; 4) оценка таксовой стоимости запаса древостоя. Совершенствование материально-денежной оценки лесосек затруднено, так как отсутствуют данные о точности таксации лесосек [1].

Для материально-денежной оценки запасов древостоев разработана имитационная модель «Лесосека». Программа написана на Фортране-IV в ОС ЕС ЭВМ. Вводом в модель являются данные выборочной или глазомерно-измерительной таксации древостоев без перечета деревьев: число деловых ($N_{\text{дел}}$) и дровяных ($N_{\text{др}}$) деревьев, средний диаметр (D) древостоя, минимальный ($d_{\text{мин}}$) и максимальный ($d_{\text{макс}}$) диаметры деревьев, средние возраст (A) и высота (H), класс бонитета ($H100$). Выход модели — распределение числа деревьев по ступеням толщины и качественным категориям (деловые и дровяные), объем деловой древесины (крупная, средняя, мелкая), дров и отходов.

Распределение числа деревьев по ступеням толщины устанавливается на основе теоретической модели бета-распределения [2]:

$$f(d) = C(d - d_{\text{мин}})^{\alpha} \cdot (d_{\text{макс}} - d)^{\gamma}, \quad (1)$$

где C — коэффициент соответствия площади под кривой распределения

общему числу деревьев древостоя; d — диаметр деревьев; α и γ — параметры формы кривой распределения.

Имитационная модель «Лесосека» составлена таким образом, что площадь под кривой распределения всегда равна установленному числу деревьев древостоя, центром распределения является среднеарифметический диаметр, пределы кривой распределения — минимальный и максимальный диаметры деревьев. Параметры формы кривой распределения оцениваются по среднеарифметическому диаметру (\bar{D}) и дисперсии (σ_d^2) распределения. Среднеарифметический диаметр вычисляется на основе таксационного среднеквадратического диаметра (D) древостоя: $\bar{D} = \sqrt{D^2 - \sigma_d^2}$. Среднеквадратическое отклонение (σ_d) распределения числа деревьев по диаметру оценивается исходя из регрессионной модели связи, которая для сосновых древостоев имеет вид

$$\sigma_d = 0,764 + 0,052D + 0,125(d_{\text{макс}} - d_{\text{мин}}) \quad (2)$$

$$(R^2 = 0,947; F = 905,5).$$

Проверка модели (2) на 35 пробных площадях показала среднеквадратическую ошибку $\pm 10,9\%$ и максимальные отклонения $\pm 1,5$ см [3].

Для оценки выхода крупной, средней и мелкой деловой древесины разработаны регрессии их связи с диаметром (d), высотой (h) и объемом (V) ствола по данным сортиментных таблиц Ф.П.Моисеенко, применяемых для сортиментации леса на корню [4]. Регрессионные модели для сосновых древостоев:

$$V_{\text{кр}} = -1,564 + 0,767V + 0,534 \lg^2 d \quad (3)$$

$$(R^2 = 0,990; F = 814,0);$$

$$\lg P_{\text{ср}} = 5,833 - 0,094d - 0,042h + 2,515 \lg V \quad (4)$$

$$(R^2 = 0,940; F = 129,4);$$

$$\lg P_{\text{мел}} = 3,709 - 0,081d - 0,018h + 0,581 \lg V \quad (5)$$

$$(R^2 = 0,951; F = 109,5),$$

где $V_{\text{кр}}$ — объем крупной деловой древесины, м^3 ; $P_{\text{ср}}$ и $P_{\text{мел}}$ — проценты средней и мелкой деловой древесины от объема ствола в коре (V).

Регрессионные модели (3)—(5) достоверны с относительной ошибкой 7—10 %, коэффициенты регрессий значимы на 5 %-м уровне. Объемы стволов вычислялись по формуле, высоты деревьев — по модели связи $h = \varphi(d, D, H, D/H)$, а видовые высоты по уравнению $-hf = \varphi(h, hd^{-2}, H/100)$.

Оценка надежности имитационной модели проверялась по данным сплошной перечислительной таксации чистых сосновых насаждений на 10 лесосеках общей площадью 9,3 га. Результаты материально-денежной

Таблица 1. Материально-денежная оценка запасов сосновых древостоев

Номер лесосеки	По данным сплошного перече́та деревьев				По данным имитации перече́та деревьев на ЭВМ и сортиментации по сортиментным таблицам			
	деловая, м ³	ликвид, м ³	всего, м ³	таксовая стоимость, р.	деловая, м ³	ликвид, м ³	всего, м ³	таксовая стоимость, р.
1	149	157	178	1640-21	<u>137</u> -8,8	<u>148</u> -6,1	<u>177</u> -0,6	<u>1506-25</u> -8,9
2	103	114	130	1056-21	<u>103</u> 0,00	<u>113</u> -0,9	<u>128</u> -1,6	<u>1057-00</u> +0,1
3	93	101	113	950-76	<u>88</u> -5,7	<u>102</u> +1,0	<u>115</u> +1,8	<u>907-50</u> -4,8
4	163	173	195	1839-39	<u>156</u> -4,5	<u>173</u> 0,00	<u>193</u> -1,0	<u>1773-40</u> -3,7
5	100	113	126	1096-79	<u>87</u> -14,9	<u>115</u> +1,8	<u>127</u> +0,8	<u>973-17</u> -12,7
6	281	298	337	3127-01 *	<u>275</u> -2,2	<u>299</u> +0,3	<u>336</u> -0,3	<u>3050-16</u> -2,5
7	256	264	300	2926-22	265	275	309	<u>3030-44</u> +3,6
8	170	177	201	1889-30	<u>171</u> +0,6	<u>179</u> +1,1	<u>202</u> +0,5	<u>1900-88</u> +0,5
9	219	226	256	2447-39	<u>189</u> -16,8	<u>197</u> -14,8	<u>224</u> -14,3	<u>2089-13</u> -17,1
10	183	190	214	1986-88	<u>181</u> -1,1	<u>190</u> 0,00	<u>223</u> +0,7	<u>1970-16</u> -0,9

Примечание. В знаменателе приведены отклонения, выраженные в процентах.

оценки запасов древостоев сравнивались с данными сплошного перече́та (100 %) и по модели на ЭВМ (табл. 1). Входом в имитационную модель явились фактические данные перечислительной таксации ($N_{\text{дел}}$, $N_{\text{др}}$, D , $d_{\text{мин}}$, $d_{\text{макс}}$). Установлено, что общий запас древесины на 9 лесосеках (90 %) оценивался по модели на ЭВМ весьма надежно (отклонения от -1,6 до +3,0 %), отклонения по выходу деловой древесины в 7 случаях (70 %) составили ± 6 %, по ликвидной древесине на 6 лесосеках (60 %) не превышали ± 1 %, по общей таксовой стоимости в 7 случаях (70 %) находились в пределах ± 5 %. Это свидетельствует о достаточной надежности имитационной модели, т.е. с вероятностью $P=0,80$ отклонение не превышает ± 10 %.

Отклонения по объему крупной деловой древесины в 5 случаях (50 %), а средней деловой древесины в 8 (80 %) равны ± 10 %, т.е. имитационная модель в целом преуменьшает оценку крупной деловой древесины. Это отмечали также финские ученые [5].

На лесосеках № 5 и № 10 отклонения по таксовой стоимости древесины составляют -12,7 и -17,1 %. Это объясняется значительной отрицательной асимметрией распределений деревьев по диаметру, т.е. большей представленностью крупномерных деревьев (табл. 2).

Таблица 2. Распределение числа деревьев по диаметру в сосновых древостоях

Но- мер лесо- секи	Способ оценки	Степень толщины								
		8	12	16	20	24	28	32	36	40
5	Сплошной пере́чет	5	8	20	25	68	51	53	16	-
	По модели на ЭВМ	1	8	22	38	52	57	48	20	-
10	Сплошной пере́чет	-	3	18	31	48	92	89	55	22
	По модели на ЭВМ	-	3	24	51	73	81	72	44	10

Распределения диаметров деревьев в одновозрастных древостоях обычно характеризуются положительной асимметрией. Значительная отрицательная асимметрия бывает весьма редко в результате бессистемных рубок леса. Имитационная модель «Лесосека», как и любая теоретическая модель одновершинного распределения, может быть ненадежной при описании многовершинных распределений.

Наиболее трудоемкий показатель в переменных входа имитационной модели — число деревьев в древостое (N). Этот показатель можно определить путем сплошного учета числа деревьев на лесосеке, учета деревьев на круговых пробных площадях и линейных выборках с последующим переводом на 1 га, оценки суммы площадей сечения древостоя полнотомером Биттерлиха (G) и вычислением числа деревьев: $N = G/0,785D^2$. Разные способы таксации могут привести к различным результатам.

На 10 лесосеках проверялась надежность имитационной модели при 4 способах таксации древостоев.

I способ. На лесосеке через 20 м по диагонали закладывались 5 круговых пробных площадей радиусом $R = 10$ м, на которых подсчитывалось общее число деревьев ($N_{\text{общ}}$) и число дровяных деревьев, оценивались суммы площадей сечений в центре площадок полнотомером Биттерлиха. Средняя высота древостоя равна среднеарифметическому 10 средних деревьев. Средний возраст оценивался на глаз. Измерялись минимальный и максимальный диаметры деревьев.

II способ. По диагоналям лесосеки систематически закладывалось 10 реласкопических круговых площадей для оценки G . Измерялись 10 диаметров и высот средних деревьев, вычислялись среднеарифметический диаметр и высота древостоя. Оценивались средний возраст и класс бонитета, измерялись $d_{\text{мин}}$ и $d_{\text{макс}}$.

III способ. На лесосеке систематически закладывалось 5 круговых пробных площадей радиусом $R = 10$ м с подсчетом $N_{\text{общ}}$ и $N_{\text{др}}$. Оценивались D , H , A , $N100$, $d_{\text{мин}}$, $d_{\text{макс}}$.

IV способ. Выполнялась глазомерная таксация древостоя: A , D , H , M , $N100$. Измерялись $d_{\text{мин}}$ и $d_{\text{макс}}$, оценивались процент деловых деревьев ($R_{\text{дел}}$) подсчетом числа деревьев (в том числе дровяных) по диагоналям лесосеки, а также видовая высота древостоя по модели связи: $HF = b_0 + b_1H + b_2HD^{-2} + b_3N100$. Отсюда $G = M/HF$.

Результаты показывают, что по I способу 3 лесосеки, по II и III способам — 5 лесосек, по IV способу — 2 лесосеки выходят за пределы допустимых отклонений (табл. 3).

Таблица 3. Выход деловой и ликвидной древесины в сосновых древостоях в зависимости от способа таксации, м³

Номер лесосеки	Сплошной перечет деревьев		По модели на ЭВМ в зависимости от способа таксации							
			I		II		III		IV	
	деловая	ликвид	деловая	ликвид	деловая	ликвид	деловая	ликвид	деловая	ликвид
1	149	157	157	177	162	185	133	164	137	156
2	103	114	98	115	107	117	105	117	92	103
3	93	101	86	101	92	107	81	93	72	85
4	163	173	153	173	165	187	164	194	149	171
5	100	113	90	101	95	108	83	103	74	98
6	281	298	278	307	301	332	258	287	265	299
7	256	264	280	288	291	300	263	271	262	270
8	170	177	222	229	226	233	175	181	165	170
9	183	190	197	203	202	208	162	167	190	196
10	219	229	228	235	225	235	198	204	201	207

Наибольшие отклонения наблюдаются при II способе выборочной таксации, наименьшие — при III. Глазомерная таксация (IV способ) дала удовлетворительные результаты, хотя систематические ошибки могут значительно повлиять на них. Максимальные отклонения по выходу крупной деловой древесины составляют от -27,6 до +20 %, средней деловой — от 18,3 до +10 % (табл. 4).

Таблица 4. Точность оценки на ЭВМ выхода деловой древесины

Показатель	Деловая древесина				Ликвид	Общий запас
	крупная	средняя	мелкая	и того...		
Максимальное + отклонение	20,0	10,0	42,9	10,8	10,6	5,1
—	27,6	18,3	19,0	17,1	0,6	0,9
Минимальное + отклонение	5,5	0,5	6,0	0,3	0,1	1,2
—	19,0	1,6	1,7	2,2	0,6	0,9
Среднеквадратическая ошибка, %	17,9	9,1	24,7	8,7	4,9	2,9

Максимальные отклонения на отдельных лесосеках небольшие, например отклонение +20 относится к лесосеке № 2, где фактический выход крупной деловой древесины составил $6,5 \text{ м}^3$, а по модели на ЭВМ — $7,8 \text{ м}^3$, т.е. разница $-1,3 \text{ м}^3$. Отклонение +42,9 % (мелкая деловая древесина) составляет $2,7 \text{ м}^3$. Среднеквадратические ошибки для 10 лесосек по выходу крупной деловой древесины $\pm 17,9 \%$, средней деловой $\pm 9,1 \%$, общему объему деловой $\pm 4,9 \%$, общему запасу древесины $\pm 2,9 \%$. Общий выход деловой и ликвидной древесины, таксовая стоимость ее незначительно различаются по модели на ЭВМ (III способ таксации) в сравнении с данными сплошного перечета (табл. 5).

Таблица 5. Общий выход и таксовая стоимость древесины на лесосеках

Способ оценки	Деловая древесина		Ликвид	
	м^3	р.к.	м^3	р.к.
Сплошной пересчет	1715,6	18862-49	1811,6	18978-40
По модели на ЭВМ	1703,4	18688-00	1877,8	18914-72
Отклонение, %	-0,7	-0,9	+3,7	-0,3

Надежность имитационной модели «Лесосека» и точность материально-денежной оценки запасов по модели на ЭВМ зависят от точности выборочной и измерительной таксации древостоев, особенно в оценках числа деловых и дровяных деревьев, точности регрессионных моделей связи, надежности алгоритма и программы на ЭВМ. Отклонения от данных сплошной перечислительной таксации (см. табл. 3) объясняются неточными оценками

ми числа деревьев, например на лесосеке № 7 по сплошному перечету — 316 деловых деревьев, а по данным учета II способом — 286.

Поэтому для практического применения имитационной модели необходимо разработать оптимальные методы выборочной таксации лесосек без перечета деревьев в зависимости от требуемой точности, стоимости работ и других ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богачев А.В. О совершенствовании материально-денежной оценки лесосек и сортиментации лесосечного фонда // Лесн. хоз-во, 1987, № 7. С.50—52.
2. Апрощенко О.А. Аналитическое описание распределений по диаметру с помощью бета-функции // Лесоведение и лесн. хоз-во. Мн., 1979. Вып.14.
3. Апрощенко О.А. Система моделирования и прогноза роста древостоев (на примере БССР) // Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Киев, 1986.
4. Муссенко Ф.П. Таблицы для сортиментного учета леса на корню. Мн., 1972.
5. Väliaho H., Vuokila Y. A system for simulation of the development of stem — diameter distribution // Comm. Onstitutit Forestalis Fenniae. 1973. V.78. N.9.

УДК 630*

Е.Т.ДИМИТРОВ, д-р с.-х. наук (Софийский лесотехн. ин-т)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ПО ВЫСОТЕ СОСНОВЫХ, ЕЛОВЫХ И ПИХТОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

Закономерности строения древостоев по высоте используются в лесной таксации в оценке запаса древостоя, его сортиментной структуры, изменчивости трудноизмеряемых таксационных показателей, разработке программ рубок ухода.

Строение древостоев по высоте исследовано в лесах Болгарии по материалам перечислительной таксации насаждений I—IV классов бонитета на 180 пробных площадях (ПП): в сосновых древостоях (57 ПП) в возрасте 15—130 лет, еловых (93 ПП) — 21—150 лет и пихтовых (30 ПП) — 30—150 лет. На 147 ПП измерены высоты всех деревьев, на остальных произведены выборочные измерения высот.

У средневозрастных, приспевающих и спелых насаждений высоты значительно варьируют. Коэффициент вариации сосняков изменяется от 48,3 (17 лет) до 9,5 % (90 лет), ельников — от 54,9 (21 год) до 11,8 % (65 лет), пихтовых древостоев — от 50,8 (30 лет) до 17,3 % (69 лет).

На компьютере ИМКО-4 вычислены регрессионные модели связи коэффициента вариации (y) с возрастом древостоев (x), которые имеют вид:

$$\text{сосна } y = 6,41 + 483,63/x \quad (R^2 = 0,892; S_y = 5,45); \quad (1)$$

$$\text{ель } y = 12,95 + 630,78/x \quad (R^2 = 0,783; S_y = 6,56); \quad (2)$$

$$\text{пихта } y = 11,15 + 929,59/x \quad (R^2 = 0,834; S_y = 4,56). \quad (3)$$

Коэффициенты детерминации ($R^2 = 0,78—0,89$) показывают, что ре-