

пнево-корневой древесины составляют в среднем 10,1 % запасов стволовой древесины. Следовательно, на еловых вырубках дополнительно к стволовой можно заготовить 25—35 м<sup>3</sup>/га пнево-корневой древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марковский Г.А. Шумите, пуши и дубравы // Политинформатор и агитатор. 1986. № 17. С.16—17. 2. Застенский Л.С., Гвоздев В.К. Запасы пнево-корневой древесины сосновых вырубков 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;  $\alpha$  и  $\gamma$  — 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 ( $\sigma_d^2$ ) распределения. Среднеарифметический диаметр вычисляется на основе таксационного среднеквадратического диаметра ( $D$ ) древостоя:  $\bar{D} = \sqrt{D^2 - \sigma_d^2}$ . Среднеквадратическое отклонение ( $\sigma_d$ ) 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,  $\text{м}^3$ ;  $P_{\text{ср}}$  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 <sup>3</sup>                | ликвид, м <sup>3</sup> | всего, м <sup>3</sup> | таксовая стоимость, р. | деловая, м <sup>3</sup>   | ликвид, м <sup>3</sup> | всего, м <sup>3</sup> | таксовая стоимость, р.  |
| 1              | 149                                    | 157                    | 178                   | 1640-21                | <u>137</u><br>-8,8  | <u>148</u><br>-6,1     | <u>177</u><br>-0,6    | <u>1506-25</u><br>-8,9  |
| 2              | 103                                    | 114                    | 130                   | 1056-21                | <u>103</u><br>0,00  | <u>113</u><br>-0,9     | <u>128</u><br>-1,6    | <u>1057-00</u><br>+0,1  |
| 3              | 93                                     | 101                    | 113                   | 950-76                 | <u>88</u><br>-5,7   | <u>102</u><br>+1,0     | <u>115</u><br>+1,8    | <u>907-50</u><br>-4,8   |
| 4              | 163                                    | 173                    | 195                   | 1839-39                | <u>156</u><br>-4,5  | <u>173</u><br>0,00     | <u>193</u><br>-1,0    | <u>1773-40</u><br>-3,7  |
| 5              | 100                                    | 113                    | 126                   | 1096-79                | <u>87</u><br>-14,9  | <u>115</u><br>+1,8     | <u>127</u><br>+0,8    | <u>973-17</u><br>-12,7  |
| 6              | 281                                    | 298                    | 337                   | 3127-01 *              | <u>275</u><br>-2,2  | <u>299</u><br>+0,3     | <u>336</u><br>-0,3    | <u>3050-16</u><br>-2,5  |
| 7              | 256                                    | 264                    | 300                   | 2926-22                | 265   | 275                    | 309                   | <u>3030-44</u><br>+3,6  |
| 8              | 170                                    | 177                    | 201                   | 1889-30                | <u>171</u><br>+0,6  | <u>179</u><br>+1,1     | <u>202</u><br>+0,5    | <u>1900-88</u><br>+0,5  |
| 9              | 219                                    | 226                    | 256                   | 2447-39                | <u>189</u><br>-16,8   | <u>197</u><br>-14,8    | <u>224</u><br>-14,3   | <u>2089-13</u><br>-17,1 |
| 10             | 183                                    | 190                    | 214                   | 1986-88                | <u>181</u><br>-1,1  | <u>190</u><br>0,00     | <u>223</u><br>+0,7    | <u>1970-16</u><br>-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  $\pm 6$  %, по ликвидной древесине на 6 лесосеках (60 %) не превышали  $\pm 1$  %, по общей таксовой стоимости в 7 случаях (70 %) находились в пределах  $\pm 5$  %. Это свидетельствует о достаточной надежности имитационной модели, т.е. с вероятностью  $P=0,80$  отклонение не превышает  $\pm 10$  %.

Отклонения по объему крупной деловой древесины в 5 случаях (50 %), а средней деловой древесины в 8 (80 %) равны  $\pm 10$  %, 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-<br>мер<br>лесо-<br>секи | Способ<br>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, м<sup>3</sup>

| 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<br>27,6      | 10,0<br>18,3 | 42,9<br>19,0 | 10,8<br>17,1 | 10,6<br>0,6 | 5,1<br>0,9  |
| Минимальное + отклонение —     | 5,5<br>19,0       | 0,5<br>1,6   | 6,0<br>1,7   | 0,3<br>2,2   | 0,1<br>0,6  | 1,2<br>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       |          |
|-------------------|-------------------|----------|--------------|----------|
|                   | $\text{м}^3$      | р.к.     | $\text{м}^3$ | 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-