

6. Чубанов К.Д., Киселев В.Н., Бойко А.В. Природная среда в зонах влияния промышленных центров. Сосновые леса Белоруссии.— Мн.: Наука и техника, 1989.

УДК 630\*

О. А. Атрощенко, профессор;  
С. В. Ковалевский, аспирант

### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ ПО ДИАМЕТРУ

The simulation model of a stand's structure on a diameter for Belarusian woods is created by researching of pure even-aged stands of basic forest species, applicating of beta-distribution statistical model of trees number on a diameter, regressive communication models of diameter distribution parameters and stand taxation indexes.

В строении древостоев особое значение имеют модели распределения числа деревьев по диаметру, на основе которых можно получить другие таксационные показатели древостоев (высоту, объем, запас). Закономерности распределения деревьев по диаметру позволяют определять лесоводственную структуру древостоев, научно обосновать проведение рубок ухода, повысить точность таксации и совершенствовать лесоустроительное проектирование [1].

Строение чистых одновозрастных сосновых, еловых и березовых древостоев изучалось по данным перечислительной таксации на 270 пробных площадях, из них: сосна — 102, ель — 95, береза — 73. Исследуемые древостои в возрасте от 10 до 110 лет характеризовались I<sup>a</sup>–IV классами бонитета, средним диаметром от 3 до 31 см, высотой от 3 до 29 м. На ПЭВМ выполнена оценка параметров теоретических распределений, статистический анализ выборочных показателей опытных распределений (среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ), показателей эксцесса (E) и асимметрии ( $A_s$ )), разработаны регрессии связи выборочных показателей и параметров распределений со средним диаметром древостоя.

Изучаемые сосновые, еловые и березовые насаждения имеют асимметричный унимодальный тип распределения числа деревьев по диаметру с положительной асимметрией.

Статистическая обработка распределений числа деревьев по диаметру показала, что коэффициенты асимметрии ( $A_s$ ) и эксцесса (E) уменьшаются с увеличением возраста и среднего диаметра древостоя.

Они имеют наибольшие значения в насаждениях младших возрастов ( $As = 1.1$ ,  $E = 1.8$ ), а в спелых – распределение имеет небольшие положительные величины ( $As = 0.2$ ,  $E = 0.01$ ). С возрастом биологическая конкуренция уменьшается и, как результат, уменьшается асимметрия распределения деревьев по диаметру.

Стандартное отклонение ( $\sigma$ ) с возрастом увеличивается и в спелых древостоях достигает 9 см. Его значения для сосновых, еловых и березовых древостоев практически одинаковые. Изменение стандартного отклонения с возрастом обусловлено увеличением среднего диаметра древостоя и размаха распределения деревьев по диаметру (табл. 1).

Таблица 1

## Динамика статистических показателей по группам возраста

Порода	Статистики	Группа возраста			
		молодняки	средневозрастные	приспевающие	спелые
Сосна	$\sigma$ , см	3.22	4.8	5.8	6.02
	As	0.364	0.343	0.324	0.200
	E	0.351	0.218	0.349	0.035
Ель	$\sigma$ , см	2.81	5.93	7.38	8.68
	As	0.506	0.417	0.406	0.381
	E	0.663	0.372	0.221	0.085
Береза	$\sigma$ , см	2.36	4.63	5.95	6.66
	As	1.149	0.748	0.498	0.393
	E	1.78	1.141	0.769	0.619

На основе вычисленных статистик распределения установлена степень варьирования стандартного отклонения, коэффициента асимметрии и эксцесса. Варьирование стандартного отклонения для сосновых, еловых и березовых насаждений практически одинаково и находится в пределах 35%. Варьирование коэффициента асимметрии достигает 95%, а эксцесса - 470%, т. е. их практически трудно использовать в моделировании строения древостоев по диаметру на ПЭВМ, применяя теоретические модели типа ряда Грамма-Шарлье или кривые Пирсона.

Сильная линейная положительная корреляционная связь ( $r = 0.89 - 0.91$ ) существует между среднеквадратическим отклонением и средним диаметром для всех исследуемых древостоев. Средняя кор-

реляция установлена между коэффициентом вариации и средним диаметром. Корреляционная связь коэффициентов асимметрии и эксцесса со средним диаметром для сосновых и еловых насаждений является слабой, а для березовых – средней (табл.2).

Результаты статистического анализа показали, что наиболее перспективным параметром для моделирования строения древостоев по диаметру является среднеквадратическое отклонение. Таким образом, для моделирования строения древостоев по диаметру в качестве теоретической функции распределения необходимо использовать функции, у которых данный параметр является основным.

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции статистик распределения числа деревьев по диаметру со средним диаметром древостоя**

Порода	Статистические показатели			
	$\sigma$	V	As	E
Сосна	0.889	-0.457	-0.309	0.214
Ель	0.902	-0.637	-0.053	-0.096
Береза	0.908	-0.699	-0.612	-0.544

Опытные распределения числа деревьев по диаметру в древостоях выравнивались функциями теоретических распределений (нормальное, логарифмически нормальное, гамма- и бета-распределения), а по  $\chi^2$ - критерию Пирсона оценивалось (с вероятностью 0.95) соответствие опытных распределений теоретическим моделям. Результаты показали, что для аналитического описания опытного распределения числа деревьев по диаметру лучше подходит модель бета-распределения, которая хорошо описывает 71% общего числа исследуемых древостоев (нормальное - 11%, логарифмически нормальное - 6%, гамма-функция - 12%).

Бета-распределение является удобной моделью для описания различных опытных распределений, так как в зависимости от параметров принимает самую разнообразную форму [2]. Дифференциальная функция бета-распределения диаметров деревьев имеет вид

$$f(d) = C \cdot (d_i - d_{\min})^\alpha \cdot (d_{\max} - d_i)^\gamma; \quad (1)$$

$$C = N / \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} (d_i - d_{\min})^\alpha \cdot (d_{\max} - d_i)^\gamma d(x), \quad (2)$$

где  $C$  – коэффициент соответствия площади под кривой распределения числу деревьев в древостое;  $\alpha$ ,  $\gamma$  – показатели формы кривой;  $d_{\min}$  – минимальный диаметр;  $d_{\max}$  – максимальный диаметр;  $d_i$  – диаметр  $i$ -того дерева в древостое.

Модель строения древостоев по диаметру создается на основе исследования строения чистых одновозрастных насаждений основных лесообразующих пород Беларуси, применения статистической модели бета-распределения числа деревьев по диаметру, регрессионных моделей связи параметров распределения и таксационных показателей деревьев в древостое, алгоритма имитации строения и вычисления таксационных показателей древостоя (О. А. Атрощенко, 1986).

Структура системы моделирования строения древостоев по диаметру представлена на рис. 1.

Таксационные показатели оцениваются выборочными или глазомерно-измерительными методами таксации без перечета деревьев.

Базовыми данными для модели являются следующие таксационные показатели: возраст ( $A$ ), сумма площадей сечений ( $G$ ), средний диаметр ( $D$ ), средняя высота ( $H$ ), запас ( $M$ ), класс бонитета ( $H100$ ).

По регрессионным моделям связи с таксационными показателями оценивается среднеквадратическое отклонение ( $\sigma_d$ ) распределения числа деревьев по диаметру в древостое. Для сосновых древостоев модель имеет вид

$$\sigma_d = 0.76 + 0.05D + 0.12(d_{\max} - d_{\min}). \quad (3)$$

Параметры формы кривой бета-распределения ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ) вычисляются через среднеарифметический диаметр древостоя ( $\bar{D}$ ) и дисперсию ( $\sigma_d^2$ ) опытного распределения числа деревьев по диаметру в древостое согласно алгоритму, предложенному Ф. Зехрером, а также дополнениям финских ученых [3].

На основе полученных параметров бета-распределения по формуле (1) находится число деревьев по ступеням толщины. Вычисляется средний (таксационный) диаметр древостоя, который сравнивается со средним диаметром древостоя, полученным по результатам таксации в лесу. Если различие диаметров составляет более 2 см, то процесс повторяется: верхний предел бета-распределения увеличивается на один шаг и повторно вычисляются все показатели, т. е. применяется итерационная процедура.

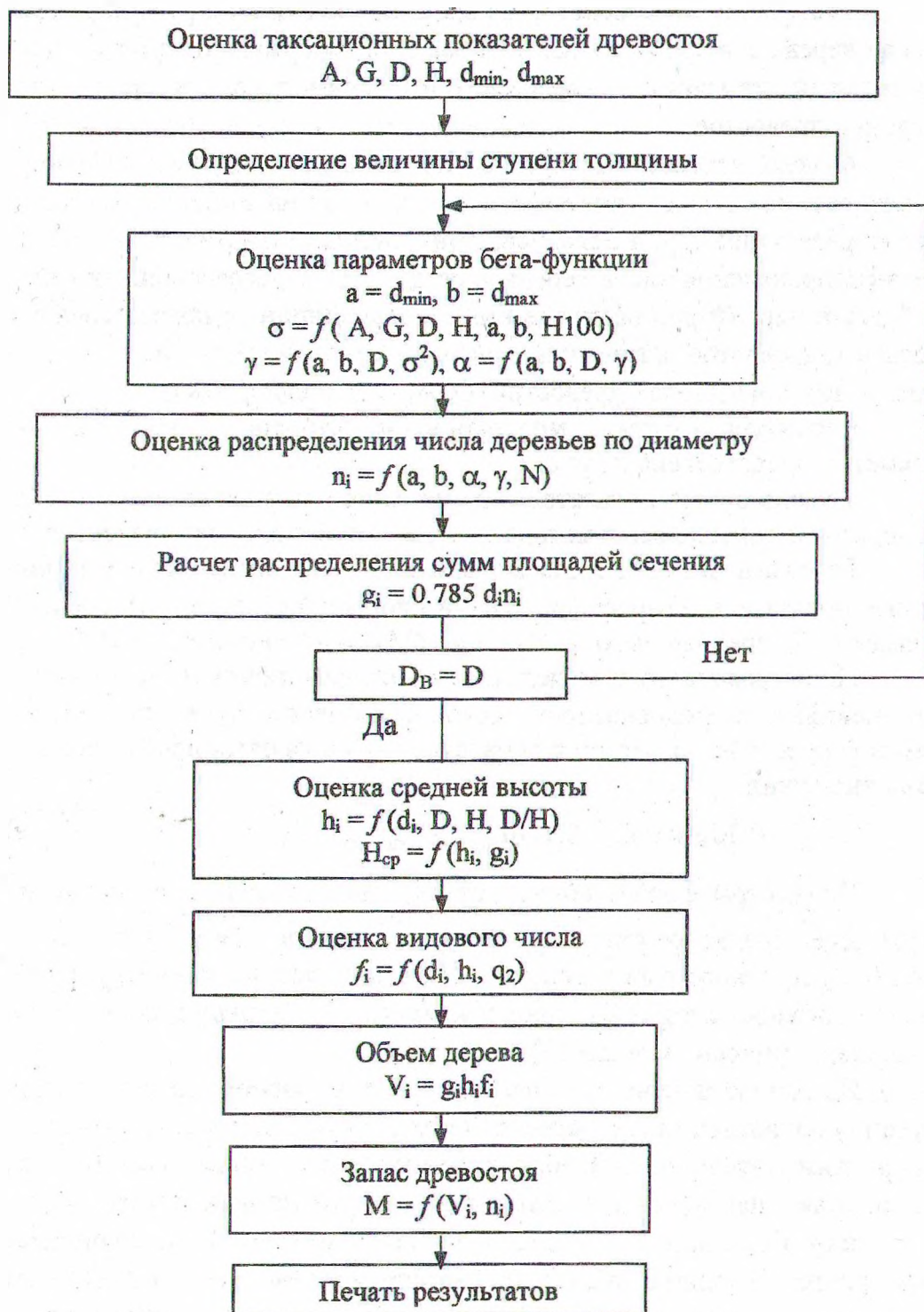


Рис. 1. Система моделирования строения древостоев по диаметру

По регрессионным моделям связи оцениваются: средние высоты деревьев, видовые числа, объемы стволов и, как результат, запас древостоя.

Модели связи диаметров и высот деревьев разработаны по данным таксации модельных деревьев. Исследованы уравнения параболического, логарифмического и экспоненциального типов. Хорошие результаты получены по уравнениям Корсуня и Г. Бакмана [4]. Для основных древостоев найдена модель

$$h = -0.05 + 0.41d - 0.32D + 0.82H + 0.418 \frac{D}{H}, \quad (4)$$

где  $d$  – диаметр дерева на 1.3 м;  $h$  – высота дерева;  $D$  – средний диаметр древостоя;  $H$  – средняя высота насаждения.

Для сосняков модель видовой высоты следующая:

$$hf = 1.1416 + 0.416h - 0.581hd^{-2} + 0.0086H100, \quad (5)$$

где  $H100$  – индекс класса бонитета согласно общепонитировочной шкале М. М. Орлова.

Для каждой ступени толщины определяют объем среднего дерева по формуле

$$V_i = g_i h_i f_i, \quad (6)$$

где  $V_i$  – объем среднего дерева  $i$ -той ступени толщины;  $g_i$  – площадь сечения  $i$ -той ступени толщины;  $h_i$  – средняя высота  $i$ -той ступени толщины;  $f_i$  – видовое число  $i$ -той ступени толщины.

Общий запас древостоя вычисляется по формуле

$$M = V_1 n_1 + V_2 n_2 + \dots + V_m n_m, \quad (7)$$

где  $V$  – объем среднего дерева по ступеням толщины;  $n$  – количество деревьев по ступеням толщины.

Модель выдает перечень деревьев, средние высоты и видовые числа по ступеням толщины, таксационные показатели древостоя, параметры бета-распределения. Она позволяет имитировать строение чистых одновозрастных сосновых, еловых и березовых древостоев.

Точность и надежность системы моделирования строения древостоев по диаметру зависит от точности исходных данных выборочной таксации насаждений, структурной и функциональной точности математических моделей связи показателей, логической структуры и точности вычислительных алгоритмов, заложенных в программе на ЭВМ, практической простоты применения системы [5].

Сравнение выхода имитационной модели с данными перечислительной таксации сосновых древостоев на 35 контрольных пробных площадях показало, что относительные ошибки в оценках средних диаметров составляют от +0.9 % до -0.5 %, средних высот – от +7.8 % до -4.8 %, сумм площадей сечений – от +2.0 % до -0.8 %, запасов древостоев – соответственно +5.3 % и -4.4 % [6].

Разработанная модель позволит получать в ГИС “Лесные ресурсы” по каждому насаждению данные распределения числа деревьев по ступеням толщины на основе таксационных показателей древостоя без перечета деревьев, составлять таблицы строения древостоев по диаметру в дополнение к таблицам хода роста, прогнозировать динамику строения древостоев по диаметру с различным режимом рубок ухода, представлять данные (перечеты и таксовую стоимость древесины) по лесосечному фонду на основе выборочных методов таксации древостоев, составлять таблицы динамики товарности древостоев, которые будут использоваться для планирования и управления лесосечным фондом, кадастровой оценки лесов и прогнозирования роста и производительности древостоев, разработки программ рубок ухода, оценки сортиментной структуры древостоев и ее динамики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин К.Е., Швиденко А.З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. – М.: Лесная промышленность, 1978.
2. Атрощенко О.А. Применение ЭВМ в научных исследованиях и дипломном проектировании по лесному хозяйству. Ч. 1. – Мн.: БТИ им. С.М. Кирова, 1985.
3. Атрощенко О.А. Применение ЭВМ в научных исследованиях и дипломном проектировании по лесному хозяйству. Ч. 2. – Мн.: БТИ им. С.М. Кирова, 1985.
4. Атрощенко О.А. Регрессионные модели связи диаметров и высот деревьев в березовых древостоях // Лесоведение и лесное хозяйство. – М., 1982. Вып. 17.
5. Атрощенко О.А. Система моделирования и прогноза роста древостоев (на примере БССР): Дис. на соискание ученой степени доктора с.-х. наук: 06.03.02. – Киев, 1985.
6. Атрощенко О.А. Система моделирования строения древостоев по диаметру // ИВУЗ Лесной журнал. – Архангельск, 1989. № 2.