

УДК 630\*53:630\*245

**М.В. Устинов, М.М. Устинов**

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Устинов Михаил Васильевич родился в 1956 г., окончил Брянский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет свыше 50 печатных работ в области таксации, лесоустройства и информационных технологий.  
E-mail: max32br@rambler.ru



Устинов Максим Михайлович родился в 1984 г., окончил в 2006 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, аспирант БГИТА. Имеет 11 печатных работ по исследованиям товарной структуры выбираемой при рубках ухода части древостоев.  
E-mail: max32br@rambler.ru



## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ СТВОЛОВ, ВЫБИРАЕМЫХ ПРИ РУБКАХ УХОДА В ДРЕВОСТОЯХ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ЕЛИ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Представлено моделирование форм и объемов стволов ели, выбираемых при рубках ухода за лесом.

*Ключевые слова:* ель, рубки ухода, объем ствола, видовое число, коэффициент формы, разряд высот.

В современных условиях перед лесной отраслью стоят задачи перехода на новые технологии инвентаризации лесов, совершенствования методической и нормативной лесотаксационной базы. Применение существующих нормативов не удовлетворяет современную лесохозяйственную практику, особенно при таксации части древостоев, выбираемой рубками ухода и характеризующейся иными размерно-качественными показателями.

Объектом исследований являются ельники Брянской области, которые занимают 95 377 га, что на 1,4 % больше, чем 10 лет назад. Из них 67,9 % – ельники искусственного происхождения. Созданию культур ели или с ее участием способствовало, начиная с 1970-х гг., массовое уничтожение культур сосны лосем. Повреждение ели короедом-типографом привело к снижению темпа расширения площадей, занятых этой породой. Большая часть культур была создана в последние 40 лет. Тенденции указывают на

возможность значительного увеличения ельников к середине XXI в.

Цель нашей работы заключается в изучении закономерностей роста выбираемой части древостоев лесных культур ели и разработке нормативов для определения объемов стволов.

Исследованиями установлена тесная (на уровне  $r = 0,80...0,95$ ) корреляция высоты выбираемых деревьев с таксационным диаметром, объемом ствола как в коре, так и без коры, а также приростами по объему. Высоты имеют тесную связь и с совокупностью показателей: произведением возраста дерева на его высоту ( $r = 0,82$ ), видовой высотой, произведением высоты на диаметр ствола ( $r = 0,92$ ), высоты на второй коэффициент формы ствола ( $r = 0,95$ ). Сильная связь ( $r = 0,6...0,8$ ) имеется с коэффициентом формы ствола и текущим приростом по объему. С другими показателями корреляция слабая или практически отсутствует. Высота деревьев практически не зависит от класса бонитета

насаждения ( $r = -0,23$ ), а также ТЛУ ( $r = -0,10$  по влажности почв,  $r = 0,14$  по их богатству).

Для моделирования высоты нами взят таксационный диаметр ствола как показатель, наиболее доступный для прямых измерений. Для классификации деревьев по разрядам высот построена математическая модель зависимости от диаметра:

$$h = \left( \frac{5,566338}{2,53616d + 5,646402} + 5,646402 \times \sqrt{2,608333 + 1,10937d - 9,15879} K^{w-t} \right)$$

где  $h$  – моделируемая высота ствола, м;

$d$  – фактический таксационный диаметр ствола, см;

$K$  – коэффициент различия разрядов высот;

$w$  – номер моделируемого разряда высот;

$t$  – номер центрального разряда высот.

Так как модель построена по всей совокупности модельных деревьев (413 шт.), то она описывает только центральный (базовый) разряд высот (т. е.  $t = 4$ ). Конкретные модели образуются при изменении коэффициента  $w$  в соответствии с номером разряда высот. С учетом граничных значений ступеней толщины, обусловленных экспериментальным материалом (начальная ступень 4, конечная 30 см) образуется девять разрядов высот. Построенная модель характеризуется высокой точностью определения средней высоты ( $P = 1,3$  %). Она использована при составлении нормативов для нахождения разряда высот и моделировании объемов стволов.

Большое значение при определении объема стволов имеет его форма. Коэффициент формы ( $q_2$ ) стволов деревьев, выбираемых при рубках ухода за лесом, имеет такую же связь с видовым числом ( $r = 0,93$ ) и другими таксационными показателями ствола и

насаждения, как в древостое в целом. Он не зависит от лесорастительных условий (класс бонитета, полнота, тип леса, ТЛУ), теснота связи по модулю не превышает  $r = 0,11$ .

Так как высота и таксационный диаметр являются объемобразующими показателями и применяются одновременно при моделировании  $q_2$ , что позволяют сделать современные информационные технологии, нами для его моделирования проверено восемь типов функций, из которых оптимальна следующая:

$$q_2 = -0,11033d \left( 0,042027 - \frac{0,32203}{h} \right) + 0,758321,$$

где  $h$  – фактическая высота ствола, м.

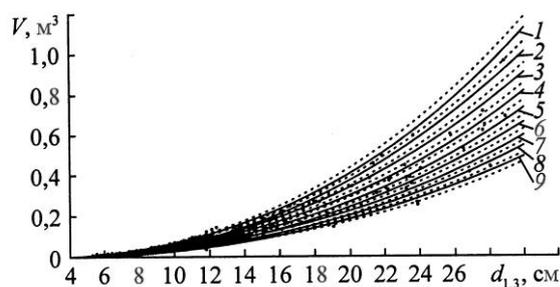
С помощью этого уравнения можно определить среднее значение  $q_2$  с точностью опыта 0,46 %, изменчивость не превышает 9,4 %, основное отклонение 0,018. Показатели получены на уровне достоверности  $P = 99,9$  %.

Для стволов, выбираемых при рубках ухода за лесом, средние значения коэффициентов формы, получаемые по модели, с увеличением ступени толщины уменьшаются, т. е. сохраняется закономерность их изменения, как и для древостоя в целом.

Построена также модель видовых чисел ( $f$ ) стволов ели, которые тесно коррелируют с коэффициентами формы  $q_1$  ( $r = 0,80$ ),  $q_2$  ( $r = 0,93$ ),  $q_3$  ( $r = 0,88$ ). С другими показателями ствола корреляция слабая. Для моделирования видового числа проверено четыре типа уравнений. Приводим одну из лучших модель, сохраняющую биологические закономерности изменения видового числа:

$$f = -0,0769 + \frac{0,020127}{d} + \frac{0,412279}{h} + 0,798419q_2.$$

Модель позволяет определить средние значения с ошибкой  $\pm 0,53$  %. Основные оценочные показатели получены на высоком уровне достоверности



Закономерность изменения объемов стволов ели, выбираемых при рубках ухода:  
1–9 – разряды высот

Объемы стволов ели по разрядам высот

D, см	Разряд высот								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	8,8 0,0064	7,8 0,0057	6,9 0,0052	6,2 0,0047	5,5 0,0042	4,9 0,0039	4,4 0,0035	3,9 0,0032	3,5 0,0029
6	11,8 0,0186	10,5 0,0167	9,3 0,0151	8,3 0,0136	7,4 0,0123	6,6 0,0111	5,8 0,0101	5,2 0,0091	4,6 0,0083
8	14,5 0,0396	12,9 0,0356	11,5 0,0321	10,2 0,0289	9,1 0,0261	8,1 0,0236	7,2 0,0213	6,4 0,0193	5,7 0,0176
10	16,9 0,0710	15,1 0,0638	13,4 0,0574	11,9 0,0517	10,6 0,0466	9,4 0,0421	8,4 0,0380	7,5 0,0345	6,7 0,0313
12	19,2 0,1139	17,1 0,1023	15,2 0,0920	13,5 0,0828	12,0 0,0747	10,7 0,0674	9,5 0,0609	8,5 0,0551	7,6 0,0500
14	21,3 0,1693	19,0 0,1521	16,9 0,1367	15,0 0,1231	13,4 0,1109	11,9 0,1001	10,6 0,0904	9,4 0,0819	8,4 0,0742
16	23,3 0,2380	20,8 0,2138	18,5 0,1922	16,4 0,1730	14,6 0,1558	13,0 0,1406	11,6 0,1271	10,3 0,1150	9,2 0,1043
18	25,2 0,3207	22,4 0,2880	20,0 0,2589	17,8 0,2330	15,8 0,2099	14,1 0,1894	12,5 0,1712	11,2 0,1549	9,9 0,1405
20	27,0 0,4176	24,1 0,3751	21,4 0,3372	19,1 0,3035	17,0 0,2735	15,1 0,2468	13,4 0,2230	12,0 0,2019	10,6 0,1831
22	28,8 0,5293	25,6 0,4754	22,8 0,4275	20,3 0,3848	18,0 0,3468	16,1 0,3130	14,3 0,2829	12,7 0,2561	11,3 0,2323
24	30,4 0,6560	27,1 0,5893	24,1 0,5299	21,5 0,4770	19,1 0,4300	17,0 0,3881	15,1 0,3509	13,5 0,3177	12,0 0,2882
26	32,0 0,7977	28,5 0,7167	25,4 0,6446	22,6 0,5804	20,1 0,5232	17,9 0,4724	15,9 0,4272	14,2 0,3869	12,6 0,3510
28	33,6 0,9546	29,9 0,8577	26,6 0,7715	23,7 0,6948	21,1 0,6266	18,8 0,5658	16,7 0,5118	14,9 0,4636	13,2 0,4208
30	35,1 1,1265	31,2 1,0124	27,8 0,9108	24,7 0,8205	22,0 0,7400	19,6 0,6685	17,4 0,6047	15,5 0,5480	13,8 0,4976

Примечание. В числителе –  $H$ , м; в знаменателе –  $V$ , м<sup>3</sup>.

$R = 99,9$  %, коэффициент детерминации  $R^2 = 0,894$ . Для стволов ели, выбираемых при рубках ухода за лесом, закономерность изменения видовых чисел сохраняется, как и для древостоя в целом.

В результате обработки и анализа экспериментального материала на основании изучения форм стволов деревьев были разработаны таблицы объемов стволов ели, выбираемых при

рубках ухода за лесом. Они построены на решении функции

$$V = ghf,$$

где  $g$  – площадь сечения ствола дерева на высоте 1,3 м, м<sup>2</sup>.

Эта модель дает возможность определять объем стволов ели, выбираемых при рубках ухода за лесом, с ошибкой не более 5,8 % и достоверностью  $P = 99,9$  %. Изменчивость объемов составляет 118,5 %, что объясняется шириной работы принятой модели в пределах таксационного диаметра 4...30 см. Коэффициент детерминации Пирсона составляет  $R^2 = 0,931$ .

Наглядно распределение объемов стволов в зависимости от диаметра представлено на рисунке.

На основе установленных математических моделей высот и форм стволов получены средние значения объемов стволов ели, выбираемых при рубках ухода за лесом, по разрядам

высот (см. таблицу). При построении объемных таблиц использовано варьирование высот в пределах  $\pm 3\sigma$  по каждой ступени толщины.

Разработанные таблицы позволяют установить объемы хлыстов и выполняют роль нормативного документа для стволов ели, выбираемых при рубках ухода за лесом. Помимо этого, они служат звеном для составления других нормативных документов, в частности сортиментных таблиц.

*M.V. Ustinov, M.M. Ustinov*

Bryansk State Academy of Engineering and Technology

#### **Simulation of Stem Volume Harvested under Thinning in Spruce Stands of the Bryansk Area**

Simulation of spruce stems shape and volume harvested under thinning is presented.

Keywords: spruce, thinning, stem volume, form factor, shape coefficient, height order.