

зывают влияние потери азота при горении. При низовом пожаре слабой интенсивности они составили 14,3 кг/га, средней – 89,4 кг/га, сильной интенсивности – 234,9 кг/га.

Для снижения горимости, ущерба от лесных пожаров и повышения пожароустойчивости лесов необходимо совершенствовать систему предупреждения, раннего обнаружения и оперативного тушения лесных пожаров.

УДК 630\*526.5

В.П. Машковский, доцент

### УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫХОДА ДРЕВЕСИНЫ ЗАДАННОЙ КРУПНОСТИ

Simulation model, enabling to determine a volume of big, medium, and small timber, firewood and waste products from tree trunks on the basis of a diameter at breast height and height of a tree is described in this paper.

В лесном хозяйстве используется множество различной справочно-нормативной информации. Как правило, она представлена в виде разного рода таблиц. Такая форма удобна для пользования, так как практически не требует никаких дополнительных трудовых затрат (вычислений) для доступа к данным. Однако у этого способа хранения информации есть и свои недостатки. Во-первых, он очень громоздкий. Во-вторых, такое представление данных усложняет их использование при автоматизации расчетов на ЭВМ. Эти недостатки отсутствуют, если информация хранится в виде математических моделей.

В настоящее время для материально-денежной оценки леса на корню используются сортиментные таблицы, в которых для различных пород в зависимости от разряда высот и ступеней толщины приводятся объемы ствола, древесины различных категорий крупности, дров и отходов. В данной работе делается попытка представить информацию, содержащуюся в сортиментных таблицах Моисеенко Ф.П. [9], в виде математических моделей. Такой подход широко используется за рубежом, где вместо составления таблиц разрабатываются математические модели, основанные, как правило, на уравнении образующей древесного ствола [12, 13].

Аналогичные работы выполнялись и в нашей стране. В частности, в 1969 г. для описания образующей стволов осины был предложен полином 5-й степени [1, 2]. Однако в дальнейшем это уравнение ис-

пользовалось только для определения объемов стволов. Для анализа товарной структуры стволов осины были предложены другие уравнения, не связанные с образующей [2, 3].

Разработан и другой вариант математической модели, также не использующий образующую древесного ствола для определения объема дерева, выхода деловой древесины различных категорий крупности, дров и отходов. Данные уравнения получены для березы, ольхи черной и осины [5, 6, 10].

Более универсальные математические модели получаются в том случае, если в их основе лежит уравнение образующей древесного ствола. В Беларуси разработки такого рода имеются для березы, осины и дуба [7, 8, 11].

Для моделирования сортиментных таблиц Ф.П.Моисеенко использовалась математическая модель, применявшаяся ранее для товаризации стволов осины [11]. В ней используются следующие уравнения:

$$V(h_n, h_g) = g_{1,3} \cdot \frac{(H - h_n)^{2 \cdot a + 1} - (H - h_g)^{2 \cdot a + 1}}{(H - 1,3)^{2 \cdot a} \cdot (2 \cdot a + 1)}, \quad (1)$$

$$V_{бк}(h_n, h_g) = K^2 \cdot V(h_n, h_g), \quad (2)$$

$$h(d_{вк}) = H - (H - 1,3) \cdot \left( \frac{d_{вк}}{d_{1,3}} \right)^{1/a}, \quad (3)$$

$$d_{вк} = \frac{d_{бк}}{K}, \quad (4)$$

$$h_{\phi}(d_{вк}) = \min \left( \frac{P \cdot H}{100\%}, \max(0, h(d_{вк}) - O) \right), \quad (5)$$

$$h_{кк} = h_{\phi}(25,0/K), \quad (6)$$

$$h_{см} = h_{\phi}(12,5/K), \quad (7)$$

$$h_{мд} = h_{\phi}(2,5/K), \quad (8)$$

$$h_{до} = \max(0, h(2,5) - O), \quad (9)$$

где  $V(h_n, h_g)$  - объем в коре части ствола, начинающейся на высоте  $h_n$  и заканчивающейся на высоте  $h_g$ ;  $V_{бк}(h_n, h_g)$  - объем без коры части

ствола, начинающейся на высоте  $h_n$  и заканчивающейся на высоте  $h_g$ ;  $g_{1,3}$  - площадь сечения ствола в коре на высоте 1,3 м;  $H$  - высота дерева;  $h(d_{вк})$  - высота, на которой ствол имеет диаметр в коре, равный  $d_{вк}$ ;  $d_{бк}$  - диаметр ствола на какой-либо высоте без коры;  $h_{кс}$ ,  $h_{см}$ ,  $h_{мд}$  и  $h_{до}$  - высота, на которой крупная деловая древесина сменяется средней, средняя - мелкой, мелкая деловая древесина - дровами и дрова - отходами соответственно.

Используя уравнения (1-8), выход древесины различных категорий из отдельных стволов можно определить следующим образом:

$$V_{вк} = V(0, H), \quad (10)$$

$$V_{кр} = V_{бк}(0, h_{кс}), \quad (11)$$

$$V_{ср} = V_{бк}(h_{кс}, h_{см}), \quad (12)$$

$$V_{мел} = V_{бк}(h_{см}, h_{мд}), \quad (13)$$

$$V_{др} = V(h_{мд}, h_{до}), \quad (14)$$

$$V_{отх} = V_{вк} - V_{кр} - V_{ср} - V_{мел} - V_{др}, \quad (15)$$

где  $V_{вк}$ ,  $V_{кр}$ ,  $V_{ср}$ ,  $V_{мел}$ ,  $V_{др}$ ,  $V_{отх}$  - объемы ствола в коре, крупной, средней и мелкой деловой древесины, дров и отходов соответственно.

Во всех приводимых в данной работе уравнениях подразумеваются следующие единицы измерения: высота - м, диаметр - см, площадь сечения -  $m^2$ , объем -  $m^3$ .

Коэффициенты уравнений данной модели оценивались методом наименьших квадратов по материалам сортиментных таблиц [11]. Полученные в результате выполненных расчетов значения параметров уравнений (1)–(9) и некоторые статистические показатели, характеризующие данные уравнения, приведены в табл. 1.

Значения статистических показателей, характеризующих данные уравнения, показывают их статистическую достоверность на уровне значимости 0,05.

Анализ точности математической модели проводился на материале 567 пробных площадей, заложенных в древостоях различных пород и возрастов. Распределение экспериментального материала по породам и классам возраста приводится в табл. 2.

Как видно из данных этой таблицы, пробные площади заложены в древостоях всех основных древесных пород республики и представлены

Таблица 1

## Коэффициенты и статистические характеристики уравнений

Порода	Коэффициенты				F-критерий Фишера	Множественный коэффициент детерминации, $R^2$	Стандартная ошибка оценки, S
	a	K	P	O			
Сосна	0,747	0,9462	0,7584	2,064	82660	0,9984	0,0616
Ель	0,642	0,9708	0,8098	1,942	106818	0,9989	0,0593
Дуб	0,653	0,9152	0,6130	0,0490	497284	0,9996	0,0686
Ясень	0,657	0,9295	0,6088	1,832	20855	0,9997	0,0268
Клен	0,653	0,9407	0,4345	2,262	221845	0,9996	0,0329
Граб	0,772	0,9775	0,1357	2,850	7601	0,9938	0,0512
Береза	0,692	0,9344	0,5275	1,003	46257	0,9981	0,0370
Осина	0,624	0,9528	0,4759	2,881	175635	0,9996	0,0195
Ольха	0,656	0,9017	0,5723	0,7808	52161	0,9986	0,0254
черная							
Липа	0,734	0,8997	0,5967	0,2837	350347	0,9997	0,0222

Таблица 2

## Распределение пробных площадей по породам и классам возраста

Порода	Классы возраста							
	3	4	5	6	7	8	9	Итого
Б	—	7	10	13	11	8	1	50
Д	—	2	7	14	4	—	—	27
Е	7	32	24	3	—	—	—	66
ОЛЧ	—	4	26	24	10	2	—	66
ОС	—	4	14	9	8	—	—	35
С	52	133	118	17	2	—	1	323
Итого	59	182	199	80	35	10	2	567

насаждениями 3-9 классов возраста. В основном это приспевающие и спелые леса. Такое распределение пробных площадей по возрастам соответствует поставленным целям. Все вышеизложенное говорит о том, что экспериментальный материал охватывает в основном все древостои, для которых может выполняться сортиментация, и, следовательно, позволяет получить достоверные результаты при проверке точности математической модели сортиментных таблиц.

Полевые материалы каждой пробной площади обрабатывались двумя способами.

При первом способе обработки вычисления всех таксационных показателей проводились по общепринятым методикам. Выход крупной, средней и мелкой деловой древесины, а также объем дров, ликвида, отходов, ликвида из кроны и общий запас определялись с помощью сортиментных таблиц Моисеенко Ф.П. для соответствующего разряда высот.

При втором способе все таксационные показатели вычислялись так же, как и в первом случае, а сортиментация выполнялась не по таблицам, а с помощью математической модели на основании ступенной толщины и их высот при соответствующем разряде высот.

Затем путем сравнения результатов, полученных двумя различными способами, выполнялась оценка точности математической модели. Сравнивались результаты сортиментации для девяти древесных пород. В табл. 3 для данных пород приводится число пробных площадей, на которых они встречались в составе древостоя. Вычисления выполнялись для пород, входящих в состав древостоев более чем на трех пробных площадях.

Наряду с качественным анализом отклонений и вычислением их среднеквадратической величины, применялся однофакторный дисперсионный анализ [4]. Исследовалось влияние способа вычисления (по математической модели или по сортиментным таблицам) на результаты сортиментации. Проверяемая нулевая гипотеза заключалась в том, что способ выполнения сортиментации не влияет на полученные результаты.

Для того, чтобы проверить данную гипотезу, вычислялся F-критерий, который затем сравнивался с табличным значением F-критерия Фишера для уровня значимости 0,05. Если вычисленный критерий меньше табличного значения или равен ему, то нулевая гипотеза принимается, в противном случае - отвергается.

Полученные в результате проведенных расчетов показатели (M – средние арифметические величины запасов древесины различных категорий; S – среднеквадратические отклонения между запасами, полученными разными способами; F – критерий Фишера) приведены в табл. 3.

Данные этой таблицы показывают, что в основном среднеквадратические отклонения между запасами, полученными разными способами, не превышают трех кубометров. Более высокие среднеквадратические отклонения наблюдаются только в семи случаях. Максимальное из них получено при определении запаса средней деловой древесины для еловых стволов ( $6,97 \text{ м}^3$ ). Еще в трех случаях

Таблица 3

## Анализ точности математических моделей

Порода	Число пробных площадей, шт.	Запас			Крупная			Средняя			Мелкая			Дрова		
		M, м <sup>3</sup>	S, м <sup>3</sup>	F	M, м <sup>3</sup>	S, м <sup>3</sup>	F	M, м <sup>3</sup>	S, м <sup>3</sup>	F	M, м <sup>3</sup>	S, м <sup>3</sup>	F	M, м <sup>3</sup>	S, м <sup>3</sup>	F
Береза	278	43,9	0,76	0,0011	6,0	0,49	0,0090	16,7	2,52	0,0070	3,5	2,00	1,2412	12,8	3,58	0,1697
Граб	15	6,3	1,71	0,0234	0,1	0,12	0,1578	0,3	0,09	0,0532	0,2	0,17	3,5106	5,2	1,97	0,0536
Дуб	78	91,4	1,58	0,0002	45,9	2,05	0,0007	14,8	1,65	0,0217	1,4	0,91	0,7375	15,3	2,63	0,0071
Ель	164	76,2	1,38	0,0032	23,2	3,05	0,0616	28,4	6,97	0,5857	12,7	4,72	1,2895	3,7	0,89	0,1910
Клен	5	5,1	0,68	0,0013	0,1	0,04	0,0076	0,7	0,01	0,0001	0,1	0,06	0,7233	3,5	0,89	0,0043
Ольха черная	110	82,7	1,11	0,0041	9,4	1,97	0,3102	34,5	1,93	0,1095	7,9	2,04	1,4934	18,0	2,96	0,0004
Осина	113	60,2	1,88	0,0028	9,5	0,89	0,0003	19,6	1,09	0,0077	1,4	0,93	1,0718	25,1	1,59	0,0053
Сосна	380	127,4	4,38	0,2132	27,2	2,23	0,0160	63,3	4,94	0,2808	15,1	3,59	0,0846	6,4	1,35	0,8791
Ясень	11	4,6	0,03	0,0002	2,0	0,06	0,0006	0,8	0,06	0,0018	0,4	0,05	0,0220	0,8	0,03	0,0041

среднеквадратическое отклонение попало в интервал от 4 до 5 кубических метров (сосна, средняя деловая древесина – 4,94 м<sup>3</sup>; ель, мелкая деловая древесина – 4,72 м<sup>3</sup>; сосна, общий запас – 4,38 м<sup>3</sup>).

Что касается проверки выдвинутой гипотезы о влиянии способа вычисления на полученные запасы, то ее следует отклонить, так как для всех случаев вычисленные величины F-критерия оказались более низкими, нежели табличное значение для уровня значимости 0,05. Это говорит о том, что способ определения выхода древесины различных категорий (по сортиментным таблицам или по математическим моделям) не имеет статистически значимого влияния на получаемые результаты.

В связи с этим, предлагаемая математическая модель сортиментных таблиц Моисеенко Ф.П. может быть использована для материально-денежной оценки леса на корню.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воинов Н.Т. Изучение образующей древесного ствола с помощью ЭЦВМ // Новое в лесоводстве.- Вып. 19. - Мн.: Ураджай, 1969. - С. 117-123.
2. Воинов Н.Т. Составление объемных и сортиментных таблиц на основе математического моделирования с применением ЭЦВМ: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук.- Мн., 1971.
3. Воинов Н.Т. Математические модели объемных и сортиментных таблиц осины // Лесохозяйственная наука и практика.- 1972. - Вып. 22. - С. 27-30.
4. Колемаев В.А. и др. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для экон. спец. вузов.- М.: Высш. шк., 1991.
5. Машковский В.П. Регрессионные модели сортиментных таблиц Моисеенко Ф.П. по березе // Рациональное использование и воспроизводство лесных ресурсов. Научные труды. Московский государственный университет леса. - М., 1992. - С. 162-165.
6. Машковский В.П. Аппроксимация сортиментных таблиц Моисеенко Ф.П. по ольхе черной // Современные аспекты лесной таксации. Сборник научных трудов Института леса Академии наук Беларуси. Вып. 38. - Гомель, 1994. - Ч. 1. - С. 89-90.
7. Машковский В.П. Моделирование выхода деловой древесины по категориям крупности из стволов березы // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов. Научные труды. Московский государственный университет леса.- М., 1994. - С. 28-32.

8. Машковский В.П. Математическая модель сортиментных таблиц // Международная научно-практическая конференция "Лес-95". Тезисы докладов.- Мн., 1995. - С. 19.
9. Моисеенко Ф.П. Таблицы для сортиментного учета леса на корню.- Мн.: Государственное издательство БССР, 1961.
10. Машковский В.П. Регрессионные модели для материально-денежной оценки осиновых лесов // Сохранение биологического разнообразия Белорусского Поозерья: Тез. докл. регион. науч.-практ. конф., Витебск, 25-26 апр. 1996 г.- Витебск.: Изд-во Витебского госуниверситета, 1996.- С. 42-43.
11. Машковский В.П. Сортиментация осинников с использованием имитационной модели // Труды Белорусского государственного технологического университета, Лесное хозяйство.- Вып. 4.- Мн., 1994.
12. Laasasenaho J. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Commun. Inst. For. Fenn. 108. - Helsinki, 1982.- 74 p.
13. Lappi J. Mixed linear models for analysing and predicting stem form variation of scots pine. Commun. Inst. For. Fenn. 134. - Helsinki, 1986.- 69 p.

УДК 630\*232

В. К. Гвоздев, доцент;  
 Н. И. Якимов, доцент;  
 Л. М. Сероглазова, доцент;  
 Л. Ф. Поплавская, ст. преподаватель

**ОСОБЕННОСТИ РОСТА СЕЯНЦЕВ СОСНЫ  
 ОБЫКНОВЕННОЙ, ВЫРАЩЕННЫХ ИЗ СЕМЯН  
 КЛОНОВЫХ СЕМЕННЫХ ПЛАНТАЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ  
 ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ БЕЛАРУСИ**

Samples of 2-year-old seedlings grown on vegetation plantations from 20 different forest-farms of the country have been chosen for investigation. The growth of the samples has been the matter of observation.

Для устранения риска создания насаждений с генетическими дефектами, которые особенно опасны в критической экологической ситуации, необходимо изучать генетическую структуру семенных плантаций и проводить их сертификацию. При высоком уровне веде-