

возросла (55,0 %). Абсолютная масса его кроны и ствола стабилизировалась и составляет по 0,31 т на 1 га.

Таким образом, в условиях западной части УССР, на свежих нераскорчеванных вырубках в свежей грабовой судубраве, обработка почвы под лесные культуры может стать решающим фактором успешного лесовосстановления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Калинин М. И. Моделирование лесных насаждений. — Львов: Вища шк., 1978. — 206 с. [2]. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. — М.: Лесн. пром-сть, 1967. — 100 с. [3]. Тиунчик В. К. Научные основы оптимального состава дубово-сосновых насаждений в условиях суборей и сугрудков равнинной части Запада Украины: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. — Львов, 1981. — 17 с.

Поступила 21 октября 1991 г.

УДК 630*5.001.57

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫРУБАЕМЫХ ДЕРЕВЬЕВ

В. Ф. КОВЯЗИН

Лесотехническая академия (г. Санкт-Петербург)

Для проектирования специальных отечественных средоохраняющих агрегатных машин для выборочных и других видов несплошных рубок необходимо знать критерии вырубаемых деревьев — характеристику предмета труда. Литературы по этому вопросу очень мало [1, 2, 5, 6, 8], а имеющиеся сведения противоречивы. Нашей целью было изучение этой проблемы.

При исследовании использованы методы статистического анализа и моделирования. На ЭВМ «Искра-1256», «Искра-226» по специальной программе [3] рассчитаны коэффициенты детерминации D , критерии Фишера F , Пирсона χ^2 , Стьюдента t , остаточная дисперсия S , средняя арифметическая M и ее ошибка m , среднее квадратичное отклонение σ , коэффициент вариации V и точность оценки среднего значения в выборке P . Статистические показатели оценивали при 5 %-ном уровне значимости.

Полевые работы выполняли в трех областях южнотаежной зоны: Ленинградской (Лисинское, Рошинское и Парголово-лесопредприятия), Костромской (Вохомский мехлесхоз) и Кировской (Мурашинский мехлесхоз). В 45—118-летних хвойно-лиственных древостоях зеленомошной и сфагновой групп типов леса выполняли таксацию и закладывали круговые площадки размером 100 и 150 м². Радиус площадки составлял соответственно 5,65 и 6,91 м. Ею устанавливали в зависимости от густоты и среднего диаметра древостоя. Число площадок в каждом типе леса (участке) определяли по формуле, приведенной в работе [3]; оно колебалось от 8 до 12. На всех 53 площадках высотомером измеряли высоту деревьев, мерной вилкой — диаметры на высоте груди d и месте среза $d_{0,1}$. По систематическому принципу отбирали модельные деревья, у которых определяли протяженность бессучковой части h_0 и общую длину ствола H , число живых сучьев на 1 м длины кроны N , максимальные диаметры сучьев D_s . Из нижней, средней и верхней частей дерева выпиливали шайбы толщиной 2 см для определения влажности древесины. Образцы взвешивали до и после сушки в течение 8...10 ч. Влажность W определяли по формуле

$$W = 100 (m - m_0) / m_0, \quad (1)$$

где m , m_0 — масса образца соответственно свежесрубленной и абс. сухой древесины, кг.

Общую массу дерева находили суммированием масс его частей.

Эффективность работы агрегатных машин на несплошных рубках зависит от таксационных показателей элементов леса. Технолог и конструктор, кроме общеизвестных показателей древостоя, должны знать минимальный, средний и максимальный диаметры на месте среза, массу дерева, протяженность бессучковой части ствола, число сучьев на 1 м и их максимальные диаметры.

Зависимость между диаметрами на высоте среза и высоте груди установлена по обмеру 2339 деревьев и выражается уравнением прямой линии (табл. 1).

Таблица 1

Порода	Число замеров	Уравнение связи	D	χ^2	S
Сосна	684	$d_{0,1} = 1,26d + 0,57$	0,98	1,13	1,79
Ель	642	$d_{0,1} = 1,27d + 0,11$	0,98	1,24	2,00
Береза	573	$d_{0,1} = 1,17d + 2,14$	0,94	1,41	4,76
Осина	440	$d_{0,1} = 1,17d + 0,89$	0,95	1,50	1,67

Теснота связи между диаметрами характеризуется высоким коэффициентом детерминации ($D = 0,94 \dots 0,98$). Остаточная дисперсия S находится в пределах точности измерения диаметра дерева. Дисперсионное отношение (статистика F) во всех случаях выше табличного значения ($F_{\text{табл}} = 254,3$). Следовательно, рассматриваемые диаметры существенно влияют друг на друга, а полученная математическая модель адекватна ($\chi^2_{\text{расч}} < \chi^2_{\text{табл}}$). Доверительный интервал диаметра находится в пределах 4...32 см. Значит, средний диаметр на месте среза в лесохозяйственной практике можно определять через коэффициент формы ствола в комлевой части q_0 . Последний зависит от эдафических условий и в среднем (без учета корневых лап) равен: для сосны $1,27 \pm \pm 0,01$; ели $1,28 \pm 0,01$; березы $1,31 \pm 0,02$; осины $1,25 \pm 0,02$. В дальнейшем диаметр рекомендуем рассчитывать по формуле

$$d_{0,1} = dq_0. \quad (2)$$

Конструкция пильного аппарата должна учитывать размеры сечения ствола в месте пропила. Важно знать не только средний, но также минимальный $d_{0,1}^{\min}$ и максимальный $d_{0,1}^{\max}$ диаметры на высоте среза. Закономерность их изменения от среднего $d_{0,1}$ изучали для всех учетных деревьев. Эти зависимости имеют вид

$$\begin{aligned} d_{0,1}^{\min} &= 0,25d_{0,1}; \\ d_{0,1}^{\max} &= 2,5d_{0,1}. \end{aligned} \quad (3)$$

Масса дерева определяет вертикальную нагрузку на конструкцию пропила. Она непостоянна, зависит от влажности древесины, которая распределяется по диаметру ствола, высоте дерева в течение года неравномерно. Максимум влаги содержится в заболони, в верхней части ствола и в зимний период. Но средняя влажность древесины — величина случайная [7], поэтому ее можно моделировать. Полученное по

49 образцам математическое ожидание влажности древесины основных пород северо-запада РСФСР приведено в табл. 2.

Таблица 2

Порода	Средняя влажность древесины W , %	Плотность древесины, $\text{кг}/\text{м}^3$, при влажности	
		12 % ρ_{12}^*	средней ρ_W
Сосна	84	510	772
Ель	85	473	720
Береза	70	641	884
Осина	82	486	728

* Данные взяты из работы О. И. Полубояринова [7].

Определение массы деревьев — очень трудоемкая работа. Проще находить ее по предложенным нами математическим моделям. Зная влажность, плотность древесины, объем хлыста в коре, а также массу кроны, можно рассчитать массу дерева G по формулам:

для сосны, ели и осины

$$G = 0,823\rho_{12}(1 + 0,01W)v + K; \quad (4a)$$

для березы

$$G = 0,811\rho_{12}(1 + 0,01W)v + K, \quad (4б)$$

где v — объем ствола в коре, м^3 ;

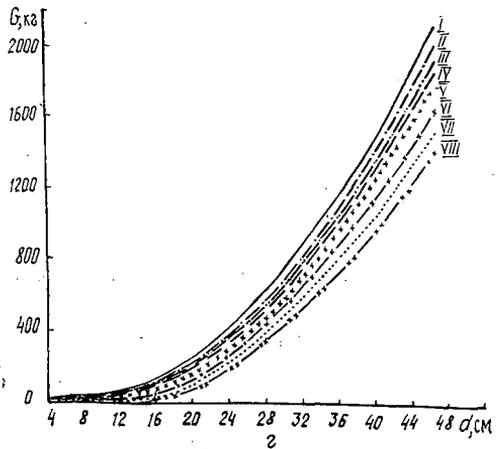
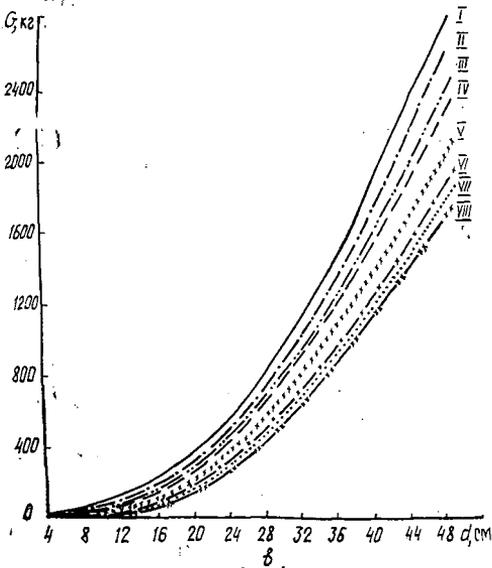
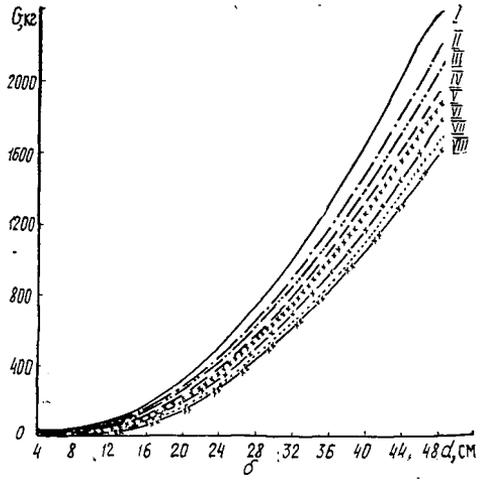
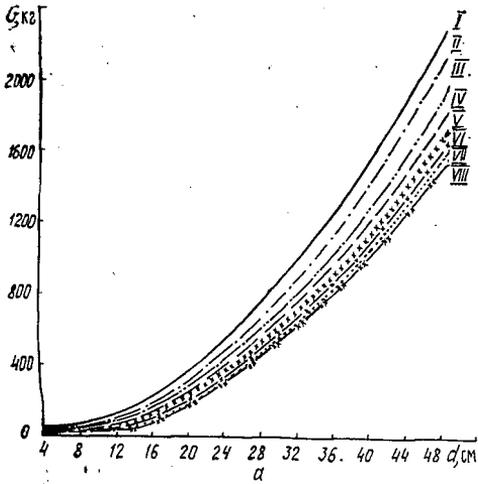
K — масса кроны, кг.

Средние значения объема хлыста и массы кроны по ступеням толщины и разрядам высот заимствованы из работы [9]. Адекватность моделей проверена по 148 взвешиваниям тонких деревьев ($2 \leq d \leq 12$ см). Во всех случаях $\chi_{\text{расч}}^2 < \chi_{\text{табл}}^2$. Массу дерева определяли в летнее время. Полученные значения выравнивали по уравнению параболы, дающему наименьшее стандартное отклонение.

Графическая зависимость массы дерева от его диаметра на высоте груди приведена на рисунке. Как видим, ее колебания по разрядам высот незначительны, и в практических целях ими можно пренебречь. Изменяется масса и по породам, которые по степени ее уменьшения располагаются в следующем порядке: береза, ель, сосна и осина.

При проектировании сучкорезных агрегатов важно знать высоту начала кроны, число живых и средние диаметры наибольших сучьев. Ученые считают [2, 4, 6, 8], что протяженность бессучковой части ствола зависит от возраста, состава, полноты, густоты древостоя, среднего диаметра на высоте груди и высоты дерева. Последний показатель варьирует в зависимости от почвенно-грунтовых (эдафических) условий. Поэтому протяженность бессучковой части ствола целесообразнее выражать в более стабильных относительных единицах, т. е. в процентах от общей высоты дерева.

Для оценки влияния каждого таксационного показателя древостоя на относительную протяженность бессучковой части ствола выполнен дисперсионный анализ, результаты которого приведены в табл. 3. Из таблицы видно, что протяженность бессучковой части ствола A , %, во всех вариантах является весомым таксационным показателем B ($F(A)_{\text{расч}} > F(A)_{\text{табл}}$). Полнота, возраст и состав насаждения не оказывают существенного влияния на относительную протяженность



Зависимость $G(d)$ для сосны (а), ели (б), березы (в) и осины (г) по разрядам высот I—VIII

бессучковой части ствола, так как $F(B)_{\text{расч}} < F(B)_{\text{табл}}$. Эти показатели зависят от среднего диаметра древостоя, который оказывает существенное влияние на высоту начала кроны ($F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$). Следовательно, при моделировании относительной протяженности бессучковой части ствола независимой величиной является диаметр на высоте груди (табл. 4).

Данные свидетельствуют, что модель достаточно точно описывает лесоводственную закономерность в интервале диаметров 8...36 см.

На 1 м высоты ствола сосны и ели насчитывается от 5 до 15 сучьев, что объясняется мутовчатым и межмутовчатым ветвлением. Лиственные же породы имеют по 2...6 сучьев на 1 м.

Условия внешней среды влияют на рост деревьев и, как следствие, на число сучьев. В каждом географическом районе страны формируются древостои определенного класса бонитета B с числом сучьев N . Следовательно, число сучьев на 1 м меняется по регионам и может быть спрогнозировано по уравнениям, приведенным в табл. 5.

Таблица 3

Таксационный показатель	Фактор	Значения F-критерия при вероятности 95 % по породам			
		Сосна	Ель	Береза	Осина
Средний диаметр древостоя, см	A	2489,85	155,86	8167,50	483,58
	B	84,69	31,17	257,00	22,17
Возраст древостоя, лет	A	16,14	49,53	59,58	25,92
	B	2,11	2,30	2,69	3,16
Относительная полнота	A	109,30	117,17	1084,66	4224,51
	B	2,28	1,04	1,29	1,62
Состав древостоя, ед.	A	1417,97	216,08	569,16	644,74
	B	0,15	0,05	1,00	0,14

Примечание. $F_{табл} = 19,00$.

Таблица 4

Порода	Вид уравнения	D	S	$\chi^2_{0,95}$	$F_{0,95}$
Сосна	$h_{ок} = 1,24d - 47,85$	0,98	0,64	6,84	1631,99
Ель	$h_{ок} = 1,18d - 4,99$	0,94	3,69	9,19	433,63
Береза	$h_{ок} = 1,08d - 37,66$	0,99	0,76	5,96	481,88
Осина	$h_{ок} = 1,40d - 47,10$	0,95	2,14	8,72	92,56

Таблица 5

Порода	Уравнение	D	S	$\chi^2_{0,95}$	$F_{0,95}$
Сосна	$N = 1,31B + 5,19$	0,68	3,22	8,19	32,60
Ель	$N = 0,07B + 7,90$	0,78	2,74	7,53	15,40
Береза	$N = 0,75B + 2,25$	0,66	1,02	6,82	10,83
Осина	$N = 0,62B + 2,58$	0,83	1,86	6,37	90,50

Статистические показатели, характеризующие уравнения, свидетельствуют об адекватности математической модели ($\chi^2_{расч} < \chi^2_{табл} = 9,49 \dots 12,59$). Данные о числе сучьев на 1 м в условиях южной тайги, рассчитанные по этим уравнениям, представлены в табл. 6.

Отклонение расчетных данных от фактических не превышает 15 %. Число сучьев на 1 м у хвойных пород (сосна и ель) в 1,5—2,0 раза больше, чем у лиственных (береза и осина). Такое соотношение выдерживается природой во всех эдафических условиях (классах бонитета).

Конструкторам сучкорезных агрегатов необходимо знать взаимосвязь максимальных диаметров сучьев с диаметром и высотой дерева. Эти данные представлены в табл. 7. Они свидетельствуют о высокой

Таблица 6

Порода	Число сучьев на 1 м по классам бонитета				
	I	II	III	IV	V
Сосна	6,5	7,8	9,1	10,4	11,7
Ель	8,0	8,0	8,1	8,2	8,3
Береза	3,0	3,7	4,5	5,3	6,0
Осина	3,2	3,8	4,4	5,1	5,7

Таблица 7

Порода	Уравнение	D	S	$\chi^2_{0,95}$	$F_{0,95}$
Сосна	$D_c = 0,08d + 0,07H - 0,20$	0,88	0,15	7,29	522,65
Ель	$D_c = 0,06d + 0,03H - 0,02$	0,86	0,14	6,81	538,09
Береза	$D_c = 0,16d + 0,03H - 0,14$	0,96	0,12	6,54	1273,31
Осина	$D_c = 0,12d + 0,15H - 2,08$	0,95	0,35	7,64	370,83

тесноте связи включенных в уравнения факторов ($D = 0,86 \dots 0,96$). Во всех случаях расчетные значения критериев Пирсона меньше, а Фишера — больше стандартных. Следовательно, модель адекватна. Уравнения справедливы в интервалах диаметров и высот: $8 \leq d \leq 36$ см; $8 \leq H \leq 25$ м.

У толстых деревьев диаметр сучьев в 3—4 раза больше, чем у тонкомера. Другие таксационные факторы (полнота, класс бонитета, состав и др.) также оказывают влияние на диаметры сучьев, но из-за меньшей весомости нами не рассматриваются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Брейтер В. С. Статистическое моделирование эксплуатационных параметров деревьев в различных районах страны // Перспективная технология и организация лесозаготовительного производства.—Химки: ЦНИИМЭ, 1977.—С. 38—49. [2]. Иевинь И. К., Дикельсон Э. О. Масса крон осины, березы и ели в кистичниках Латвии // Лесн. хоз-во.—1962.—№ 4.—С. 20—23. [3]. Ковязин В. Ф., Яновский Л. Н., Сеннов С. Н. Лесоводство: Методич. указания по применению ЭВМ «Искра-1256» для самостоятельной работы студентов III—V курсов всех отделений ЛХФ (спец. 3112).—Л.: ЛТА, 1989.—59 с. [4]. Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР / А. Г. Мошкалев, Г. М. Давидов и др.—Л.: ЛТА, 1984.—320 с. [5]. Орлов С. Ф. Теория и применение агрегатных машин на лесозаготовках.—М.: Гослесбумиздат, 1963.—271 с. [6]. Полищук А. П. Эксплуатационные показатели деревьев и древостоев лесного фонда СССР.—Химки: ЦНИИМЭ, 1968.—59 с. [7]. Полубояринов О. И. Плотность древесины.—М.: Лесн. пром-сть, 1976.—160 с. [8]. Федяев Л. Г. Основные факторы, влияющие на валку деревьев // Лесн. журн.—1960.—№ 3.—С. 78—84.—(Изв. высш. учеб. заведений). [9]. Яновский Л. Н., Моисеев В. С., Ларионова Г. Г. Лесная таксация: Методич. указания по учету древесной зелени для студентов специальности 1512.—Л.: ЛТА, 1985.—39 с.

Поступила 14 сентября 1989 г.

УДК 630*181.36 : 630*231.33

ВЫДЕЛЕНИЕ ПАСОКИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ РОСТА КОРНЕЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В КУЛЬТУРАХ МАРИЙСКОЙ ССР

В. А. ЗАКАМСКИЙ

Марийский политехнический институт

Исследования активной части корневой системы древесных пород в основном направлены на изучение морфологического строения, суточного или сезонного ритмов роста и взаимодействия корней [12]. В литературе описывается ряд способов исследования корневых систем растений ([3, 8, 13—15] и др.); для изучения роста активной их части используется метод монолита или стационара («стекло»).

Зачастую перечисленные методы трудно применить в естественных условиях из-за сложности фиксации корней и обработки полученных