

34.0.5

B-65

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт
имени С. М. Кирова

6304525 : 004,9

На правах рукописи

Н. Т. ВОИНОВ

СОСТАВЛЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ И СОРТИМЕНТНЫХ ТАБЛИЦ
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЦВМ

Диссертация написана на русском языке

(Специальность 06.561, лесоустройство
и лесная таксация)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

МИНСК 1971

634.0.5

B-65

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ
С.М.КИРОВА



На правах рукописи

Н.Т.ВОИНОВ

СОСТАВЛЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ И СОРТИМЕНТНЫХ ТАБЛИЦ
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С
ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЦВМ

(Диссертация написана на русском языке)

№ 06.56 I - лесоустройство и лесная таксация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук



Минск 1971

2703 ар.

Работа выполнена при лаборатории лесной таксации и лесо-
устройства Белорусского научно-исследовательского института
лесного хозяйства.

Научный руководитель -
доктор сельскохозяйственных наук, профессор Ф.П.Моисеевко

Официальные оппоненты:

доктор сельскохозяйственных наук В.В.Антанайтис;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент О.А.Труль.

Ведущее предприятие - Министерство лесного хозяйства БССР

Автореферат разослан " ____ " декабря 1971 г.

Защита диссертации состоится " ____ " января 1972 г.
на заседании Ученого Совета Белорусского технологического ин-
ститута им.С.М.Кирова, г.Минск, ул.Свердлова,13а, корпус IV,
аудитория 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваш отзыв на автореферат просим направлять в двух экзем-
плярах в адрес Совета.

Ученый секретарь Совета



(Н.П.БЛИНОВА)

ВВЕДЕНИЕ

В Директивах XXIV съезда КПСС большое внимание уделяется внедрению вычислительной техники в процессы обработки информации и управления. В новом пятилетии обеспечивается дальнейшая разработка проблем теоретической и прикладной математики и кибернетики для широкого применения в народном хозяйстве математических методов и электронно-вычислительной техники.

Большие задачи в новом пятилетии поставлены и перед лесным хозяйством по рациональному использованию и приращению лесных богатств нашей страны. Основным условием выполнения этих задач является непрерывное повышение продуктивности лесов. Установление эффективности различных лесохозяйственных мероприятий, направленных на повышение продуктивности лесов, вопросы учета лесосечевого фонда ставят перед лесотаксационной теорией и практикой задачи совершенствования методов таксации леса на основе применения математического моделирования и обработки результатов на электронных цифровых вычислительных машинах.

Учет лесосечевого фонда на корню обычно производится по объемным и сортиментным таблицам, хранение которых в оперативной памяти ЭЦВМ не всегда возможно. Одно из возможных решений этого вопроса связано с применением метода математического моделирования, сущность которого в данном случае заключается в определении структуры и параметров аналитических зависимостей, могущих заменять таблицы и давать решение поставленных задач при экономии оперативной памяти ЭЦВМ. Для учета лесосечевого фонда с помощью ЭЦВМ модели применяются непосредственно, а для обычного использования развертываются в таблицы.

Составление объемных таблиц с обработкой вариантов учетных

деревьев - трудоемкая работа. Для обработки карточек и составления таблиц по 3-4 породам требуется 1,5-2 человеко-года (А.Г.Молкаев, Л.М.Спицын, 1966). Применение для их составления ЭЦВМ значительно сокращает затраты труда и времени. Получение же математических моделей или системы этих моделей и составление на их основе объемных и сортиментных таблиц с помощью ЭЦВМ во много раз облегчает решение поставленной задачи.

Настоящая работа посвящена разработке методики алгоритмизации получения математических моделей и составления на их основе объемных и сортиментных таблиц с применением ЭЦВМ. Практическая проверка разработанной методики проведена на примере осины.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов и предложений, списке литературы (127 наименований) и 5 приложений. Общий объем работы 212 страниц машинописного текста, иллюстрированного 19 таблицами и 2 рисунками.

ГЛАВА I. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

С развитием кибернетики и появлением электронных цифровых вычислительных машин начался процесс "математизации" самых различных отраслей знания. Математизация захватывает все области науки, в том числе и лесную.

В процессе применения электронных вычислительных машин в лесохозяйственном производстве и математизации лесной науки к настоящему времени уже определились следующие направления.

1) Применение электронных вычислительных машин для автоматизации вычислений на основе существующих математико-статистических, десотаксационных и лесохозяйственных методов (К.Е.Никитин, 1962, 1965, 1966, 1969; Ф.П.Моисеевко, Н.Т.Воинов, 1963; А.Г.Молкаев, 1966, 1969 и др.).

2) Применение методов вычислительной математики с привлечением ЭЦВМ для решения различных лесотаксационных и лесохозяйственных задач (Н.П.Анучин, 1968; К.Е.Нинитии, 1969; В.Джурджу, 1963, 1965; В.С.Петровский, 1964, 1966; А.Н.Федосимов, 1968; Н.Т.Воннов, 1968, 1969 и др.).

3) Применение методов математического, в частности линейного, программирования для оптимизации лесоводственных и лесохозяйственных процессов и мероприятий (В.Г.Нестаров, 1962, 1964, 1967, 1969).

В настоящее время наблюдается возникновение других направлений по применению математических методов в лесной науке, в частности, математического моделирования (В.Антанайтис, 1968, 1971; Н.П.Анучин, А.Н.Федосимов, А.В.Богачев, 1970) и прогнозирования (А.М.Коротков, 1969) лесохозяйственных процессов и явлений.

ГЛАВА II. МЕТОДИКА СБОРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКА

Составление объемных и сортиментных таблиц по математическим моделям осуществляется на основе экспериментального материала, объектами для сбора которого служили осиновые насаждения в лесах БССР.

Исходный материал собирался методом заложения пробных площадей в наиболее типичных осиновых насаждениях. Пробные площади закладывались по методу типичной выборки, величина которых определялась наличием на них не менее 150-200 деревьев осины. Размещение пробных площадей на территории республики по лесовому характеризуется данными таблицы I.

Таблица 1
Размещение пробных площадей в гослесфонде БССР

Наименование областей	Наименование лесхозов	К-во пробных площадей	Класс бонитета	Разряды высот	К-во модельных деревьев
Витебская	Суражский	4	Ia	I	94
Гомельская	Гомельский	4	Ia, I	II, III, IV	85
	Рогачевский	4	Iб	I	96
Минская	Червеньский	4	I	II, III	84
Могилевская	Горецкий	4	Ia, I	II, III, IV	74
	Осиповичский	4	Iб, Ia	Ia, I	110
Всего:		24	Iб, Ia, I	Ia, I, II, III, IV	543

На каждой пробной площади производился сплошной пересчет всех деревьев по 4-сантиметровым ступеням толщины с распределением их на категории технической годности по классификации Ф.П.Моисеевко, принятой правилами учета лесосечного фонда СССР.

Для изучения сортиментной структуры древостоев был использован метод учетных деревьев. Отбор учетных деревьев производился по методу, близкому к случайной выборке. Раскрыжка срубленных деревьев производилась в соответствии с ГОСТ 9462-60. Заготавливались следующие сортименты: спичечный край, тарник, балансы и жердь. При раскрыжке учетных деревьев стремились получить максимум деловых сортиментов и в первую очередь основных для данной породы - спичечного края и балансов.

Значения всех измерений раскрыжанных моделей записывались в бланки исходных данных - карточки модельных деревьев, приспособленные для ввода в ЭЦВМ "Минск-22" (табл.2), непосредственно с которых производилась перфорация исходной информации.

Таблица 2
Бланк исходных данных (карточка модельного дерева) для получения математики чехских моделей объемных и сортиментных таблиц на ЭЦВМ "Минск-22"

Обозначение	Адрес	Значение	Пр. п. № (p)	Дерево № (j)	Бонитет	Пр С	D _{1,3}	d _{1,3}	h	Сортимент	
										Длина	Средний диаметр
Адрес	Наименование	Код	Адрес	Адрес	Адрес	Адрес	Адрес	Адрес	Адрес	Адрес	Адрес
0,0	0110		0123	0140	0155	0172	0207				
0,03	0111		0124	0141	0156	0173	0210				
0,1	0112		0125	0142	0157	0174	0211				
0,2	0113		0126	0143	0160	0175	0212				
0,3	0114		0127	0144	0161	0176	0213				
0,4	0115		0128	0145	0162	0177	0214				
0,5	0116		0129	0146	0163	0200	0215				
0,6	0117		0130	0147	0164	0201	0216				
0,7	0120		0133	0160	0165	0202	0217				
0,8	0121		0134	0161	0166	0203	0220				
0,9	0122		0135	0162	0167	0204	0221				

ГЛАВА III. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗУЮЩЕЙ ДРЕВЕСНОГО СТВОЛА

Форма древесного ствола обуславливает его объем, определяет производственную ценность продукции лесного хозяйства и выход сортиментов, что, в свою очередь, существенно сказывается на материальной и денежной оценке лесосеченого фонда. В связи с этим изучением формы древесных стволов занимались многие исследователи.

Попытки исследователей выразить форму древесных стволов аналитически при помощи математических уравнений на основе законов механики и физики не привели к желаемым результатам. Теория о бруске развояго сепротивления (К.Метцгер, П.Д.Козницын), теория о решающем значении веса дерева при формообразовании ствола (В.Гогенадль) и транспирационная теория (П.Жаккард), по которой дерево рассматривается как тело равной водопроводности, не дали удовлетворительных результатов.

Выражение формы и полндревесности стволов видовыми числами f и коэффициентами формы q получило более широкое распространение. Но в связи с тем, что f и q зависят от высоты, диаметра и полндревесности стволов, этот метод имеет ряд теоретических недостатков. Учитывая это, В.К.Захаров исследовал форму древесных стволов путем деления их на части, равные 0,1 высоты дерева. Он принял диаметр на 0,1h за 100%, а диаметры на относительных высотах выражал в процентах от диаметра на 0,1h. Им же была выдвинута гипотеза о том, что относительные диаметры стволов одной древесной породы на одинаковых относительных высотах являются статистически стабильными величинами, независимыми от диаметра ствола на высоте груди и его высоты, а также от условий среды. Для спелых насаждений осины по нашим материалам гипотеза проф.В.К.Захарова в целом подтвердилась, кроме диаметров у

основания ствола.

В настоящее время гипотеза В.К.Захарова используется для построения математических моделей формы древесных стволов в относительных величинах. В связи с применением ЭЦВМ в лесном хозяйстве наибольшее распространение получают математические модели в виде полиномов различных степеней, построенные по методу наименьших квадратов (В.Джурджу, 1963; В.С.Петровский, 1969) или на основе методов интерполяции (В.Джурджу, 1965; А.Н.Федосимов, 1968).

Эти модели изображают образующую древесных стволов полиномом заранее фиксированной степени, которая, как известно, соответствует количеству произведенных на стволе замеров. Такое соответствие определяется скорее используемыми методами построения полинома, чем требованиями задачи. Очевидно, необходимо, с одной стороны, измерить столько диаметров, сколько нужно для описания ствола, а с другой стороны, находить полином такой степени, которая достаточна для отражения с необходимой точностью всех особенностей его формы. Но в этом случае должен быть подобран наиболее подходящий способ построения полинома, так как интерполяционный метод здесь не применим, а метод наименьших квадратов неудобен.

Предположим, что по методу наименьших квадратов для табличной функции построена полином n -й степени

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n. \quad (I)$$

При значительном расхождении вычисленных с его помощью значений y_i и табличных y_i необходимо повысить степень полинома до $n+1$, т.е. искать полином вида

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n + a_{n+1} x^{n+1}.$$

Однако здесь требуется не только нахождение коэффициента a_{n+1} , но и пересчет коэффициентов $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$, так как

изменяется система, из которой они определяются. Кроме того, при степени полинома $n > 3$ вычисления по способу наименьших квадратов становятся очень громоздкими.

Значительно упростить вычислительный процесс и сократить машинное время вычисления коэффициентов полинома (I) позволяет способ Чебышева, в основе которого лежит понятие об ортогональных функциях.

Сущность способа Чебышева состоит в том, что полином вида (I) ищется в виде линейной комбинации полиномов, выбранных специальным образом. Искомый полином записывается в виде

$$y = b_0 \varphi_0(x) + b_1 \varphi_1(x) + b_2 \varphi_2(x) + \dots + b_n \varphi_n(x), \quad (2)$$

где $\varphi_0(x) = 1$, $\varphi_1(x) = x + \alpha_1^{(1)}$, $\varphi_2(x) = x^2 + \alpha_2^{(1)}x + \alpha_2^{(2)}$, ... ,

$$\varphi_z(x) = x^z + \alpha_z^{(1)}x^{z-1} + \alpha_z^{(2)}x^{z-2} + \dots + \alpha_z^{(z-1)}x + \alpha_z^{(z)}. \quad (3)$$

Численные значения полиномов $\varphi_z(x)$ вычисляются по рекуррентной формуле

$$\varphi_{z+1}(x) = (x + \beta_{z+1})\varphi_z(x) + \gamma_{z+1}\varphi_{z-1}(x),$$

где $\beta_{z+1} = -\frac{\sum x_i [\varphi_z(x_i)]^2}{\sum [\varphi_z(x_i)]^2}$, $\gamma_{z+1} = -\frac{\sum x_i \varphi_{z-1}(x_i) \varphi_z(x_i)}{\sum [\varphi_{z-1}(x_i)]^2}$.

Наиболее вероятные значения коэффициентов b_0, b_1, b_2, \dots находятся по формулам

$$b_z = \frac{\sum y_i \varphi_z(x_i)}{\sum [\varphi_z(x_i)]^2}, \quad z = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

Для перехода от полинома вида (2) к виду (I) нами разработана рекуррентная формула вычисления коэффициентов полинома $\varphi_z(x)$ через коэффициенты полиномов $\varphi_{z-1}(x)$ и $\varphi_{z-2}(x)$:

$$\alpha_z^{(k)} = \alpha_{z-1}^{(k)} + \alpha_{z-1}^{(k-1)} \beta_z + \alpha_{z-2}^{(k-2)} \gamma_z, \quad k = 0, 1, 2, \dots, z-1. \quad (5)$$

При этом $\alpha_2^{(a)} = 1$, $\alpha_{1-i}^{(a)} = 1$, при $K < 0$ $\alpha_{1-2}^{(K)} = 0$; при $K \geq 1$ $\alpha_{1-1}^{(K)} = 0$.

Подстановкой полиномов (3) и коэффициентов (4) в формулу (2) после соответствующих преобразований приходим к полиному вида (I).

Математическую модель образующей древесного ствола по способу Чебышева получаем в виде

$$\frac{D}{D_{1,3}} = f\left(\frac{\ell}{h}\right), \quad D = D_{1,3} f\left(\frac{\ell}{h}\right).$$

В производстве обычно пользуются диаметром на высоте груди $D_{1,3}$, который значительно проще измерить, чем диаметр $D_{a,1}$. Поэтому диаметр $D_{a,1}$ выражаем через диаметр $D_{1,3}$ с помощью эмпирической формулы степенного вида

$$D_{a,1} = a D_{1,3}^b + c,$$

которая является простой и наиболее общей.

Таким образом, математическая модель образующей древесного ствола в общем виде представляется так:

$$D = (a D_{1,3}^b + c) \left[a_0 + a_1 \left(\frac{\ell}{h}\right) + a_2 \left(\frac{\ell}{h}\right)^2 + \dots + a_n \left(\frac{\ell}{h}\right)^n \right], \quad (6)$$

где D - диаметр ствола на расстоянии ℓ от шейки корня,
 h - высота дерева, $D_{1,3}$ - диаметр на высоте груди.

За меру отклонения табличной функции от полинома принято среднее квадратическое отклонение

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [f(x_i) - y_{fi}]^2}.$$

Вычисление полинома по способу Чебышева производится до тех пор, пока среднее квадратическое отклонение Δ не станет меньше заданной величины $\Delta_{зад}$. Таким образом, степень полинома будет обусловлена заданным максимально допустимым значением отклонения $\Delta_{зад}$ от формы ствола.

Математическая модель образующей древесного ствола осины по способу Чебышева в относительных величинах получена с помощью ЭЦМ "Минск-22" на основе его табличной модели (табл. 3).

Таблица 3

Табличная модель формы древесного ствола осины

x_i	0,0	0,03	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
y_i	1,232	1,094	1,0	0,936	0,873	0,801	0,720	0,624
x_i	0,7	0,8	0,9	1,0				
y_i	0,500	0,351	0,212	0				

По заданному значению среднего квадратического отклонения $\Delta = 0,015$, обеспечивающего точность объема в пределах до 5%, выбран полином 5-й степени в относительных величинах

$$\frac{D}{D_0} = 4,210 - 3,203 \left(\frac{\ell}{h}\right) + 13,771 \left(\frac{\ell}{h}\right)^2 - 30,748 \left(\frac{\ell}{h}\right)^3 + 29,621 \left(\frac{\ell}{h}\right)^4 - 10,651 \left(\frac{\ell}{h}\right)^5.$$

Среднее квадратическое отклонение этого уравнения меньше заданного и составляет $\Delta = 0,0135$.

Математическая модель образующей древесного ствола осины в абсолютных величинах имеет вид

$$D = (0,866 D_{1,5}^{100\%} + 0,426) \left[4,210 - 3,203 \left(\frac{\ell}{h}\right) + 13,771 \left(\frac{\ell}{h}\right)^2 - 30,748 \left(\frac{\ell}{h}\right)^3 + 29,621 \left(\frac{\ell}{h}\right)^4 - 10,651 \left(\frac{\ell}{h}\right)^5 \right].$$

Среднее квадратическое отклонение этой модели для диаметров $8 \leq D \leq 52$ заключается в пределах $0,108 \leq \Delta \leq 0,702$, т.е. достигнутая точность составляет около 1,5%.

ГЛАВА IV. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ ТАБЛИЦ

В практической деятельности лесхозов и леспромхозов в числе ряда лесохозяйственных работ весьма важной является учет лесосеченого фонда. Данные о лесосечном фонде лесхозы и леспромхозы получают по объемным и сортиментным таблицам с помощью ручных средств счета.

В связи с внедрением математических методов и электронных вычислительных машин в лесохозяйственную практику материально-денежная оценка лесосеченого фонда переводится на машинную обработку. Однако объемные и сортиментные таблицы для учета леса на корню содержат информацию в такой форме, что возможности ее хранения в памяти некоторых ЭЦМ очень ограничены (например, ЭЦМ "Найри"). Вопрос компактного представления этой информации решается с применением метода математического моделирования.

В разработке математических моделей объемных и сортиментных таблиц намечаются два пути. Первый из них заключается в том, что математические модели разрабатываются на существующие объемные и сортиментные таблицы (Р.К.Оволяны, 1969; Н.П.Анучин, А.Н.Федосимов, А.В.Богачев, 1970). Второй изложенный в диссертации путь получения математических моделей основывается на непосредственном использовании экспериментальных данных. В этом случае по математической модели обрабатываемой древесного ствола его объем по высоте h и диаметру D_{13} определяется как объем тела вращения.

Объем тела вращения выражается формулой

$$V = \pi \int_0^h [f(x)]^2 dx,$$

откуда на основе выражения (6) получаем общий вид математической модели объема ствола

$$V = \frac{\pi}{4} (aD^4 + c)^2 \int_0^h \left[a_0 + a_1 \left(\frac{\ell}{h} \right) + a_2 \left(\frac{\ell}{h} \right)^2 + \dots + a_n \left(\frac{\ell}{h} \right)^n \right]^2 d\ell.$$

Эта модель для осины представляется таким образом:

$$V = \frac{\pi}{4} \left(0,866 D^{4,021} + 0,426 \right)^2 \int_0^{h-\delta} \left[4,210 - 3,203 \left(\frac{\ell}{h-\delta} \right) + 13,771 \left(\frac{\ell}{h-\delta} \right)^2 - \right. \\ \left. - 30,748 \left(\frac{\ell}{h-\delta} \right)^3 + 29,621 \left(\frac{\ell}{h-\delta} \right)^4 - 10,651 \left(\frac{\ell}{h-\delta} \right)^5 \right]^2 d\ell, \quad (7)$$

где δ — эмпирический поправочный коэффициент, введенный в целях согласования нашей модели объема с действующими ныне в прозаводстве объемными таблицами ($\delta = 0,9$ при $h \leq 20$ м и $\delta = 1,9$ при $h > 20$ м).

По математической модели (7) вычислены объемы осины для каждой ступени толщины по ее среднему диаметру и высоте с интервалом через 1 м и представлены в виде таблицы с двумя входами. Составленная таблица сопоставлялась с аналогичной таблицей объемов стволов осины А.В.Турнина (отклонения составляют меньше $\pm 5\%$).

Кроме того, объем модельных деревьев, использованных для составления объемных таблиц, вычислялся по формуле Симпсона и по математической модели. Объем, вычисленный по формуле Симпсона, принят за истинный. Отклонение суммарного объема, вычисленного по математической модели, от истинного составило - 0,12%.

ГЛАВА У. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОРТИМЕНТНЫХ ТАБЛИЦ

В основу разработки методики алгоритмизации получения математической модели сортиментных таблиц положена методика их составления Ф.П.Моисеевко.

Построение математических моделей и составление на их основе сортиментных таблиц с применением ЭЦВМ заключается в математизации и алгоритмизации процесса получения по экспериментальному материалу выхода сортиментов в виде аналитических выражений.

Для каждого модельного дерева с помощью ЭЦМ "Минск-22" по разработанной нами программе вычисляются объемы выхода лесохозяйственных и лесопромышленных сортиментов и распределяются по ступеням толщины. По каждой ступени находится общий запас древесины, а также общие запасы выхода лесохозяйственных и лесопромышленных сортиментов, дров и отходов. Объемы всех сортиментов, дров и отходов по ступеням толщины выражаются в виде отношений к общему запасу своей ступени. В результате выходы сортиментов по ступеням толщины представляются табличными функциями $y_i = f(x_i)$ в долях единицы от общего запаса ступени, аналитическое описание которых осуществляется на основе эмпирических формул.

Выбор формул для описания табличных функций производится с помощью соответствующих аналитических критериев. Аналитическим критерием того, что для описания табличной функции применяется формула прямой, является приближенное постоянство раздельных разностей первого порядка. Если значения, близкие к постоянному, имеют раздельные разности второго порядка, то функция описывается параболой $y = ax^2 + bx + c$.

Для выбора формул

$$y = ax^b, \quad y = ax^b + c, \quad y = ax^b + cx;$$
$$y = ae^{bx}, \quad y = ae^{bx} + c, \quad y = ae^{bx} + cx, \quad y = a\sqrt{x}$$

используется критерий линейности для преобразованных значений таблицы

$$\frac{\ln y_{i+1} - \ln y_i}{\ln x_{i+1} - \ln x_i} = \ln \frac{y_{i+1}}{y_i} : \ln \frac{x_{i+1}}{x_i} \approx \text{const.}$$

Параметры приведенных выше формул определяются с помощью метода наименьших квадратов.

Точность описания табличной функции аналитическим выражением оценивается максимальной величиной относительного отклонения вычисленного значения от соответствующего табличного

$$\delta = \max_{i \in i_{\text{ст}}} \left\{ \left| \frac{y_{\text{ст}i} - y_i}{y_i} \right| \right\}.$$

С целью снижения величины δ уточняются параметры выбранной формулы. Предлагаемый метод их уточнения заключается в минимизации величины

$$\delta = \max_{i \in i_{\text{ст}}} \left\{ \left| \frac{f(x_i; a, b, c) - y_i}{y_i} \right| \right\},$$

максимальной относительно параметров a, b, c при ограничениях

$$\frac{f(x_i; a, b, c)}{y_i} + \delta \geq 1, \quad \frac{f(x_i; a, b, c)}{y_i} - \delta \leq 1.$$

Значения найденных параметров a, b, c обозначаются через a^*, b^*, c^* и вычисляются погрешности

$$\delta_i = \frac{f(x_i; a^*, b^*, c^*) - y_i}{y_i}.$$

Среди вычисленных δ_i выбирается наибольшее положительное значение δ_i^+ и наибольшее по модулю отрицательное значение δ_i^- . Выбрав большее по модулю из δ_i^+ и δ_i^- фиксируем значение его индекса i , который обозначим через ν .

В заданной табличной функции значение $y_{i=\nu}$ заменяем значением

$$y_{\nu} = f(x_{\nu})(1 - \alpha \delta_{\nu}),$$

где α - постоянная положительная величина, а значения y_i , для которых $i \neq \nu$, оставляем без изменений. Получаем новую таблицу

$$\begin{cases} y_i = f(x_i) & \text{при } i \neq \nu, \\ y_i = f(x_i)(1 - \alpha \delta_i) & \text{при } i = \nu. \end{cases} \quad (8)$$

Параметры формулы, представляющей таблицу (8), определяются опять по методу наименьших квадратов. Такой вычислительный процесс повторяется до выполнения условия

$$\| \delta_i^+ - |\delta_i^-| \| \leq \varepsilon \quad (9)$$

где ε - заранее заданная малая положительная величина.

При выполнении условия (9) получаются значения параметров a, b, c , которые обеспечивают минимум величины δ :

$$\delta = \min_{a, b, c} \{ \max_{i \in \text{с.т.м}} \{ |\delta_i| \} \},$$

а значения δ_i^+ и δ_i^- различаются по модулю на величину, не превосходящую ε .

На основе изложенной методики аналитического представления табличной информации выходы лесопромышленных и лесохозяйственных сортиментов, дров и отходов представляются системой аналитических зависимостей, образующих математическую модель сортиментных таблиц.

Математические модели выхода сортиментов для осины в относительных величинах, полученные на основе экспериментального материала, представляются следующим образом.

а) Лесохозяйственная сортиментация:

- деловая древесина

$$K_{ддл} = 0,591 + 0,00831D - 0,0001377D^2,$$

здесь и ниже D - диаметр на высоте 1,3 м;

- крупная деловая древесина

$$K_{кр} = -2,439 + 0,12709D - 0,0012875D^2 \quad \text{при } 28 \leq D \leq 44,$$

$$K_{кр} = K_{ддл} \quad \text{при } D > 44;$$

2703 ар.

- мелкая деловая древесина

$$K_M = 103,214 e^{-0,170D} + 0,015 \quad \text{при } 16 \leq D \leq 24,$$

$$K_M = K_{дел} \quad \text{при } D < 16;$$

- средняя деловая древесина

$$K_{ср} = K_{дел} - K_M \quad \text{при } 16 \leq D \leq 24, \quad K_{ср} = K_{дел} - K_{кр} \quad \text{при } 24 < D \leq 44;$$

- отходы $K_{отх} = 13,457D^{-2,150} + 0,072;$

- дрова $K_{др} = 1 - (K_{дел} + K_{отх}).$

б) Лесопромышленная сортиментация:

- выход тарница $K_M = 0,0005D - 0,01 \quad \text{при } D \geq 24;$

- выход бѣлаков $K_B = 0,61 \cdot 10^{-6} D^{8,013} e^{-0,531D} \quad \text{при } D \leq 44;$

- выход спичечного сырья $K_{сп} = K_{дел} - (K_M + K_B) \quad \text{при } D \geq 20;$

- выход жерди $K_{ж} = K_{дел} - K_B \quad \text{при } D \leq 16.$

Абсолютные значения выхода сортиментов определяются умножением объемов, полученных по математической модели объема ствола, на относительные значения выхода сортиментов, полученных по математической модели сортиментных таблиц.

Значения объемов сортиментов осины, полученных по математической модели, сопоставлялись с соответствующими значениями сортиментных таблиц Ф.П.Моисеевко. При этом систематические ошибки составили по деловой древесине +3,1%, по дровам +8,4%, по ликвиду +3,7% и по общему запасу +3,3%.

На ЭЦВМ "Наири-С" по разработанным нами программам реализации математических моделей проведена оценка Ю деленок осины Добружского лесничества Гомельского лесхоза. Эти результаты сравнивались с данными, полученными по сортиментным таблицам Ф.П.Моисеевко. Средние отклонения машинных результатов от данных, полученных по сортиментным таблицам, составили по деловой древесине +1,3%, дровам ±3,7%, ликвиду +2,7% и общему запасу +2,6%.

ГЛАВА УІ. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕМНЫХ И СОРТИМЕНТНЫХ ТАБЛИЦ

Объемные и сортиментные таблицы составляются для конкретных условий: различных древесных пород разной продуктивности при разном числе ступеней толщины и разрядов высот, различного сортиментного состава и т.д. Некоторые условия, например, сортиментная таблица, изменяются с развитием производства, так как с течением времени характер потребления древесины меняется. Одни сортименты теряют свое значение, другие заготавливаются все в больших количествах. Все это приводит к необходимости периодической переработки таблиц. Отмеченные особенности сортиментных таблиц присущи и их математическим моделям.

В указанных выше условиях для составления сортиментных таблиц с помощью ЭЦВМ каждый раз необходима корректировка имеющейся или составление новой программы, что является достаточно трудоемкой работой. В силу этого возникает вопрос о необходимости автоматизации программирования при разработке математических моделей и составлении на их основе объемных и сортиментных таблиц. Для записи алгоритмов решения этой задачи использован табличный способ, который по сравнению с другими способами (математико-оловесным, блок-схемным) обладает рядом достоинств, заключающихся в наглядности, компактности, простоте подготовки таблиц и обращений с ними. Разработанная система алгоритмов позволяет формализовать работу по составлению рабочих программ и передать ее самой ЭЦВМ.

Таблицы алгоритмов представляют прямоугольные массивы элементов, разделенных на четыре части (квадранта). Квадранты разделяются на колонки. В колонках верхнего левого квадранта указываются названия исходных параметров, в колонках правого - назва-

ния результатов расчета. Нижние квадранты разделяются также на строки. В строках слева указываются значения параметров, в строках справа записываются ответы. Число колонок и строк не ограничивается.

Процесс реализации табличного алгоритма состоит в том, что для заданной совокупности параметров все строки просматриваются сверху вниз, пока не будет найдена строка, в которой все значения параметров совпадут с заданными. Справа в данной строке находятся искомые результаты расчетов и указания для дальнейших действий.

Результат, полученный в данной таблице, может содержать в себе указания на переход к получению результатов расчета по другой таблице. Значениями исходных параметров для получения результатов расчета по той или иной таблице могут быть не только исходные данные задачи, но и значения, вырабатываемые в ходе ее решения.

Предлагаемый принцип формирования табличного алгоритма заключается в следующем.

Часть таблиц алгоритма остается неизменной при разработке любых математических моделей объемных и сортиментных таблиц. Основные формируются на основе исходных данных специальной составляющей программой. Количество строк в этих таблицах не ограничивается, и поэтому в них могут быть учтены все требования, предъявляемые к новым моделям. Таблицы, формируемые составляющей программой, являются текущими и играют роль промежуточных. Строки текущих таблиц не находятся одновременно в памяти ЭЦВМ, а формируются поочередно одна за другой. Это ведет к сокращению расхода оперативной памяти машины, так как там находится только одна строка таблицы.

Частично система разработанных таблиц алгоритма использована при составлении программы на ЭЦВМ "Минск-22" для получения математических моделей для составления объемных и сортиментных таблиц осины.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. С помощью t -критерия установлено, что для спелых насаждений осины БССР относительные диаметры на одинаковых относительных высотах являются статистически стабильными величинами, кроме диаметра у основания ствола.

2. Разработана методика получения математической модели образующей древесного ствола в виде полинома по относительным высотам. Модель образующей древесного ствола осины получена на основе экспериментального материала, собранного в лесах БССР. Среди полиномов степеней с $n = 2$ до $n = 9$ полином 5-й степени удовлетворяет заданной погрешности $\Delta = 0,015$:

$$\frac{D}{D_{0,1}} = 1,210 - 3,203 \left(\frac{\ell}{h}\right) + 13,771 \left(\frac{\ell}{h}\right)^2 - 30,748 \left(\frac{\ell}{h}\right)^3 + 29,621 \left(\frac{\ell}{h}\right)^4 - 10,651 \left(\frac{\ell}{h}\right)^5,$$
 среднее квадратическое отклонение которого в относительных величинах $\Delta = 0,0135$, а в абсолютных - для диаметров с 8 см до 52 см составляет 0,108 - 0,702 см.

3. Для получения математической модели образующей древесного ствола в виде полинома разработан алгоритм его построения по способу Чебышева, рациональный с точки зрения реализации на ЭЦВМ и сокращения времени счета, и составлена программа для "Минск-22". Подобной программы нет в библиотеке стандартных программ для ЭЦВМ "Минск-22".

4. На основе математической модели образующей древесного ствола осины построена математическая модель его объема в следу-

чем виде:

$$V = \frac{\pi}{4} (0,866 D^{1,021} + 0,426)^2 \int_0^{h-b} \left[4,210 - 3,203 \left(\frac{\ell}{h-b} \right) + 13,771 \left(\frac{\ell}{h-b} \right)^2 - 39,748 \left(\frac{\ell}{h-b} \right)^3 + 29,621 \left(\frac{\ell}{h-b} \right)^4 - 19,651 \left(\frac{\ell}{h-b} \right)^5 \right]^2 d\ell.$$

Эта модель табулирована в таблицу с целью ее применения.

Отклонение отдельных табличных значений объемов стволов по отношению к соответствующим значениям таблиц А.В.Тюрина составляет около \pm 2-3%.

5. Одновременно с математической моделью объема древесного ствола построены математические модели выхода сортиментов осины в виде следующих уравнений:

$$\begin{aligned} K_{\text{дел}} &= 0,591 + 0,00831 D - 0,0001377 D^2; & K_{\text{б}} &= 0,61 \cdot 10^{-6} D^{4,015} e^{-0,331 D}; \\ K_{\text{кр}} &= -2,439 + 0,12709 D - 0,0012875 D^2; & K_{\text{отх}} &= 13,457 D^{-2,850} + 0,072 \\ K_{\text{м}} &= 103,214 e^{-0,372 D} + 0,015; \\ K_{\text{п}} &= 0,0005 D + 0,01; & & \text{и др.} \end{aligned}$$

Табличные значения объемов сортиментов, полученных по модели, сравнивались с соответствующими значениями объемов сортиментных таблиц Ф.П.Моисеевко. При этом оказалось, что среднее отклонение составляет +3,1% по деловой древесине, +8,4% по дровам, +3,7 по ликвиду и по общему запасу +3,3%.

6. Математические модели могут использоваться при материально-денежной оценке лесосечного фонда лесхозов БССР с помощью ЭЦМ. Для оценки лесосек вручную математические модели табулируются в объемные и сортиментные таблицы по ступеням толщины и высотам черев I м.

7. Разработана система табличных алгоритмов решения поставленной задачи, позволяющая формализовать работу по составлению программы и передать ее самой ЭЦМ.

На основании сделанных выводов предлагается:

1. Использовать разработанную нами методику построения математических моделей и составления на их основе объемных и сортиментных таблиц с помощью ЭЦВМ по всем древесным породам.
2. Использовать математические модели для материально-денежной оценки лесосечного фонда с помощью ЭЦВМ "Наири-С".
3. Использовать систему таблиц записи алгоритмов для автоматизации составления рабочих программ получения математических моделей.

По материалам выполненной работы

А. Прочитаны доклады:

На IV Всесоюзном совещании пользователей ЭВМ типа "Урал", Одесса, 1965.

На Всесоюзном координационном совещании по вопросу автоматизации технологического проектирования в машиностроении с помощью ЭВМ, Минск, 1966.

На II Республиканской конференции математиков Белоруссии, Минск, 1967.

На Всесоюзной научно-технической конференции "Автоматизация технической подготовки производства в машиностроении", Минск, 1968.

На Всесоюзном семинаре "Использование счетно-вычислительной техники в лесном хозяйстве", Москва, ВДНХ, 1968.

На Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и лесоводов-опытников, посвященная 50-летию БССР и Компартии Белоруссии, Гомель, 1968.

На Республиканской научно-технической конференции "Роль и задачи молодых специалистов и ученых в развитии научно-технического прогресса в лесной и деревообрабатывающей промышленности и лесном хозяйстве", Гомель, 1969.

Б. Выполнены научно-исследовательские работы, зарегистрированные Комитетом по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР в Государственном реестре научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ:

Автоматизация математической обработки экспериментальных данных и материалов таблиц с помощью ЭВМ (4.7.1966 во № 56601).

Автоматизация составления рабочих программы технического нормирования с помощью ЭВМ (28.9.1966 за № 57675).

В. Опубликованные работы:

1. Применение электронных вычислительных машин при лесоводственных исследованиях. "Лесной журнал", ИВУЗ, 1963, № 6.
2. О применении табличного языка при автоматизации технического нормирования. В об.: "Вычислительная техника в машиностроении", Минск, ИТК АН БССР, 1967, апрель.
3. Расчет и корректировка параметров эмпирических формул с помощью ВМ. В об.: "Вычислительная техника в машиностроении", Минск, ИТК АН БССР, 1968, июль.
4. Аналитическое представление табличной информации при автоматизации технической подготовки производства в машиностроении, В об.: "Вычислительная техника в машиностроении", Минск, ИТК АН БССР, 1968, декабрь.
5. Об изучении образующей древесных стволов с помощью ЭЦВМ. Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и лесоводов-опытников, посвященной 50-летию БССР и Компартии Белоруссии, Гомель, 1968.
6. Изучение образующей древесного ствола с помощью ЭЦВМ. Сборник БелНИИЛХ "Новое в лесоводстве", изд. "Урожай", 1969.
7. Вопросы алгоритмизации и программирования при составлении объемных и сортиментных таблиц. Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции. "Роль и задачи молодых специалистов и ученых в лесной и деревообрабатывающей промышленности и лесном хозяйстве", Гомель, 1969.